



---

**PROYECTO REGIONAL**  
**SISTEMAS INTEGRADOS DE TRATAMIENTO Y USO DE AGUAS RESIDUALES EN**  
**AMÉRICA LATINA: REALIDAD Y POTENCIAL**

**Convenio : IDRC – OPS/HEP/CEPIS**  
**2000 - 2002**

**ESTUDIO GENERAL DEL CASO**

**LAGO DE TEXCOCO, MÉXICO**

**Elaborado por:**

**Biog. Daniel Muciño**

**México, junio de 2001**

## ÍNDICE

	<b>Página</b>
1. Resumen .....	1
2. Antecedentes y justificación .....	2
2.1 Situación de las aguas residuales en el nivel nacional: coberturas y disposición .....	3
2.2 Situación de las aguas residuales en el nivel local: coberturas y disposición .....	3
2.3 Importancia del estudio: integración del sistema .....	4
3. Objetivos .....	5
3.1 General: situación actual y propuesta de integración .....	5
3.2 Específicos: situación del tratamiento y del reúso, propuesta de integración .....	5
4. Descripción general del área de estudio .....	7
4.1 Nombre de la ciudad o cuenca .....	7
4.2 Ubicación geográfica .....	7
4.3 Clima: temperatura precipitación, humedad relativa y vientos .....	8
4.4 Ecosistema de la Cuenca del Lago de Texcoco: descripción fisiográfica y recursos naturales .....	9
4.5 Actividad económica y consumo de agua en las Subregiones Valle de México y Tula .....	16
4.6 Población económicamente activa del Municipio de Texcoco .....	18
4.7 Actividad agrícola de la cuenca del Valle de México .....	20
4.8 Abastecimiento de agua y saneamiento en la Región Valle de México .....	21
5. Descripción del sistema de tratamiento de las aguas residuales .....	22
5.1 Características de la planta de tratamiento: instalaciones y procesos .....	22
5.2 Caracterización del crudo y los efluentes: caudales y calidad sanitaria .....	23
5.3 Indicadores de eficiencia: remoción de materia orgánica, nutrientes y patógenos ....	24
5.4 Disposición final de los efluentes: descarga a ambientes acuáticos y reúso .....	25
6. Descripción de las actividades de uso de aguas residuales .....	27
6.1 Zona agrícola regada con aguas residuales en el Valle de México .....	27
6.2 Sistema de riego utilizado en la Zona del Lago de Texcoco: infraestructura, caudales y métodos de riego .....	27
6.3 Otras actividades de reúso existentes .....	28
7. Evaluación económica (en US\$) .....	28
7.1 Costos de inversión y operación de las Lagunas Facultativas con Recirculación ....	28
8. Impactos ambientales del manejo de las aguas residuales y la actividad de reúso ....	28
8.1 Impactos positivos existentes en el ambiente y la salud .....	28
8.2 Impactos negativos al ambiente y la comunidad, de las nuevas plantas propuestas .....	29
8.3 Medidas implementadas para mitigar los impactos negativos .....	29

9.	Marco legal .....	30
9.1	Normas legales vigentes sobre tratamiento y uso de las aguas residuales .....	30
10.	Aspectos socioculturales .....	30
10.1	Aspectos generales de la población involucrada .....	30
10.2	Aspectos sobre tenencia y uso de la tierra .....	31
10.3	Aspectos culturales relacionados con las aguas residuales .....	31
10.4	Aspectos de organización .....	32
10.5	Relaciones interinstitucionales .....	33
11.	Propuesta de implementación de un sistema integrado de tratamiento y uso de aguas residuales .....	33
11.1	Evaluación del sistema existente: estado de la infraestructura y los procesos .....	33
11.2	Determinación de fortalezas y limitaciones del sistema actual .....	34
11.3	Estructura del sistema integrado propuesto: plan de cultivos y exigencias de tratamiento .....	35
11.3.1	Acuicultura .....	35
11.3.1.1	Exigencias de tratamiento para el cultivo de peces .....	39
11.3.1.2	Parámetros de la planta de tratamiento para cultivo de peces .....	39
11.3.1.3	Características de la planta de tratamiento para el cultivo de peces .....	40
11.3.2	Reúso agrícola .....	41
11.3.2.1	Exigencias del tratamiento para el reúso agrícola .....	41
11.3.2.2	Parámetros de diseño de la planta de tratamiento para reúso agrícola .....	41
11.3.2.3	Características de la planta de tratamiento para reúso agrícola .....	42
11.4	Rehabilitación, mejoramiento y/o ampliación de la planta de tratamiento .....	43
11.5	Rehabilitación, mejoramiento y/o ampliación de las unidades de producción agrícola, acuícola y forestal .....	43
11.6	Cronograma general de implementación de la propuesta .....	45
11.7	Inversión y costos de operación: terreno, planta de tratamiento y cultivos .....	45
11.8	Ingresos esperados con la nueva estructura productiva .....	47
11.9	Nuevos impactos ambientales .....	48
11.10	Propuesta para la gestión del sistema integrado .....	48
12.	Conclusiones y recomendaciones .....	49
12.1	Conclusiones .....	49
12.2	Recomendaciones .....	49

## **Tablas**

1.	Volumen de descarga de aguas residuales industriales y municipales.....	3
2.	Comparación de la cobertura de servicios de agua potable y alcantarillado en el área propuesta para el proyecto (en porcentaje) .....	3

3.	Plantas de tratamiento de agua del Lago de Texcoco .....	5
4.	Entidades federativas y municipios que se incluyen en la Cuenca del Valle de México .....	7
5.	Ámbito administrativo del territorio de la Zona Federal del Lago de Texcoco .....	7
6.	Tipos de clima en la Cuenca del Valle de México, y área que representan del total de la cuenca .....	8
7.	Zonas hidrológicas de la Cuenca del Valle de México .....	9
8.	Comparación de las características físicas y químicas de un suelo común con las del suelo del Lago de Texcoco .....	13
9.	Contribución al producto bruto interno nacional, de las entidades que integran la Región Valle México .....	16
10.	Principales actividades económicas en la región y sus demandas de agua (en millones de m <sup>3</sup> /año por entidad federativa .....	17
11.	Principales actividades industriales y su demanda de agua (en millones de m <sup>3</sup> /año para cada entidad federativa) .....	17
12.	Población ocupada en el municipio de Texcoco según rama de actividad .....	18
13.	Número de establecimientos manufactureros en el Municipio de Texcoco .....	19
14.	Número de establecimientos comerciales en el Municipio de Texcoco .....	19
15.	Número de establecimientos de servicios en el Municipio de Texcoco .....	20
16.	Cobertura de los servicios en los principales centros urbanos de la Región Administrativa Valle de México .....	21
17.	Características del crudo y efluente de las Lagunas Facultativas .....	24
18.	Caudales de reúso del agua de las lagunas facultativas con recirculación .....	25
19.	Costo anual de operación para la planta de tratamiento, lagunas facultativas con recirculación .....	28
20.	Parámetros generales para el diseño del sistema de tratamiento para cultivo de peces .....	39
21.	Características de las lagunas de estabilización para cultivo de peces .....	40

22.	Parámetros generales para el diseño del sistema de tratamiento para reúso agrícola .....	42
23.	Características de las lagunas de estabilización para reúso agrícola .....	42
24.	Costo estimado para la construcción de la planta para cultivo de peces (US\$) .....	45
25.	Costo anual de operación esperado para la planta propuesta para reúso de agua en producción de peces (US\$) .....	45
26.	Costo de construcción de la planta de tratamiento para riego agrícola (US\$) .....	46
27.	Costo anual de operación esperado para la planta propuesta para riego agrícola (US\$) ....	47
28.	Relación de cultivos temporales (actual y propuesto) .....	47
29.	Costos de producción de cultivos temporales por campaña (US\$) .....	48

## **Anexo 1**

Tabla 1.	Planta de tratamiento en operación de agua residual municipal según proceso de tratamiento por entidad federativa, 1998 .....	51
Tabla 2.	Capacidad instalada de planta de tratamiento de agua residual municipal según proceso de tratamiento por entidad federativa, 1998 .....	51
Tabla 3.	Inventario de sistemas de tratamiento para aguas residuales en la Cuenca de Valle de México .....	52

## **Anexo 2**

1.	Figura 1 - Localización geográfica de la Cuenca del Valle de México .....	55
2.	Figura 2 - Entidades federativas que integran la Cuenca del Valle de México, número de municipios y su extensión respecto al total de la misma .....	56
3.	Figura 3 - Localización de la Zona Federal del Lago de Texcoco .....	57
4.	Figura 4 - Lagunas Facultativas de Recirculación .....	58
5.	Cuadro 1 – Cronograma de la implementación del proyecto de reúso en el Lago de Texcoco .....	59
6.	Plano 1 - Localización de las plantas de tratamiento (en operación y propuestas) y ubicación del ejido San Felipe - Santa Cruz de Abajo .....	60

## 1. Resumen

Se presenta el caso de la recuperación ambiental en la Zona Federal del Lago de Texcoco, cuyos trabajos se iniciaron en 1971 con la finalidad de evitar la contaminación atmosférica en la Ciudad de México, derivada de una condición de extrema degradación ambiental en el lecho desecado del lago y su cuenca tributaria.

La zona Federal del Lago de Texcoco se ubica al oriente de la Ciudad de México, dentro de la Zona Hidrográfica No. VII, de la Cuenca del Valle de México. Se encuentra a 2.237 msnm. Tiene un clima templado semiseco, caracterizado por valores altos de evaporación. En el área no hay núcleos poblacionales por tratarse de una Zona Federal. Sin embargo, por su localización, está sujeta a la presión urbana, ya que está delimitada por la Zona Metropolitana de la Ciudad de México y por los municipios de Nezahualcóyotl, Chimalhuacán, Texcoco y Atenco del Estado de México.

Por su ubicación, la Zona Federal Lago de Texcoco es un lugar primordial en el control de las aguas residuales de una parte de la Ciudad de México. El caudal de agua residual que se controla en esta zona es de 10,0 m<sup>3</sup>/s en el estiaje y 28,0 m<sup>3</sup>/s durante el período de lluvias (valores promedio).

El Lago de Texcoco cuenta con tres plantas de tratamiento con una capacidad instalada de 1,5 m<sup>3</sup>/s, que opera actualmente a 1,3 m<sup>3</sup>/s. Una de estas plantas es el sistema de Lagunas Facultativas con Recirculación, que se opera a 0,5 m<sup>3</sup>/s. Este sistema de tratamiento fue construido con recursos del Gobierno Federal, y desde el inicio de su operación en 1988, uno de sus objetivos fue dotar de agua tratada a una zona agrícola del Municipio de Texcoco, con la finalidad de reducir la extracción de agua del acuífero que se usa para riego.

El agua residual tratada en las Lagunas Facultativas con Recirculación se usa actualmente para conservación de un lago artificial de 36 millones de m<sup>3</sup> de capacidad de almacenamiento, así como para conservación de la fauna silvestre y para actividades de sembrado de pasto y forestación emprendidas en la zona. Por otro lado, también se suministra esta agua residual tratada a un área ejidal del Municipio de Texcoco para su uso en riego agrícola. La superficie regada y los volúmenes de agua utilizada con este fin fueron variables.

Se presentan dos propuestas para integrar un proyecto de tratamiento y reúso que permita generalizar la aplicación de este tipo de esquemas, y que brinde directrices para hacer más eficiente el uso del recurso y por ende para promover su conservación.

Por una parte, se propone la construcción de una planta con capacidad de 0,1 m<sup>3</sup>/s, para reúso agrícola, proyecto en que se involucre de manera más activa a los usuarios. En este caso, se considera beneficiar a 40 ejidatarios que disponen de 80 ha de terreno en el ejido San Felipe - Santa Cruz de Abajo, mediante el suministro de agua tratada para producir alfalfa, calabacita o col en lugar de maíz ya que estos cultivos darían un mejor rendimiento para los ejidatarios.

Se considera también la construcción de otro módulo de tratamiento con capacidad de 0,01 m<sup>3</sup>/s para reúso en piscicultura, para lo cual se emplearán todos los estanques de producción de peces que actualmente operan en el Lago de Texcoco. Se propone desarrollar exclusivamente lo referente a la engorda de los peces, sobre la base del hecho de que la producción intensiva a escala comercial se puede desarrollar de manera controlada en el Lago Nabor Carrillo, embalse de agua residual tratada en el que actualmente sólo se han ejecutado trabajos de forma ampliatoria.

## **2. Antecedentes y justificación**

La cuenca del Valle de México fue la zona de mayor importancia económica, política, social y cultural de Mesoamérica. En la actualidad es asiento de una de las mayores concentraciones humanas del mundo.

El funcionamiento del lago de Texcoco, centro hidrológico de la cuenca del Valle de México, ha estado ligado íntimamente con el desarrollo social y urbano del valle. En la época prehispánica la zona lacustre llegó a cubrir hasta 2.000 km<sup>2</sup>, aproximadamente 20% de la superficie total de la cuenca.

Desde la época de la colonia, con la función de la ciudad, se ha requerido la construcción de obras para el manejo de los excedentes de aguas pluviales y residuales, con la finalidad de evitar y aminorar las inundaciones. El crecimiento acelerado de la población generó mayor demanda de agua para diversos usos, lo cual entre otros factores provocó la desecación del lago.

La población fue invadiendo las zonas del lago que iban quedando expuestas. Por ello, la expansión de la mancha urbana e industrial y la proliferación de cinturones de miseria, incrementaron la contaminación de las aguas superficiales y de los acuíferos. Por otra parte, en la zona alta de la cuenca, la devastación de los bosques trajo como consecuencia la erosión de los suelos y la pérdida de las tierras de cultivo.

El incremento de la población trajo consigo mayores volúmenes de aguas residuales en los ríos Churubusco, los Remedios y de la Compañía, los cuales descargaban sus aguas sobre la superficie desecada y salitrosa de lo que actualmente corresponde a la Zona Federal del Lago de Texcoco, y la tornaban cada vez más insalubre. En la época de los años 50, eran comunes las tolveneras, resultado de la frecuencia anual de los vientos del noreste, que levantaban no sólo polvo sino también detritus y gérmenes patógenos, y que provocaban graves problemas de salud pública en toda la zona metropolitana.

Ante esta situación, en 1971 se aprobó el Plan Texcoco con la finalidad de recuperar la zona degradada, con base en el aprovechamiento racional de los recursos naturales, el desarrollo forestal y el saneamiento ambiental, y buscando un mejor nivel de vida para los pobladores de la zona. Para ello, se establece además como prioridad el respeto al ambiente sin detrimento de las actividades productivas tan necesarias para el desarrollo.

## 2.1 Situación de las aguas residuales en el nivel nacional: coberturas y disposición

De acuerdo con los datos del informe “Estadísticas del Medio Ambiente”, del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática de México (INEGI), con base en la información disponible en la Comisión Nacional del Agua (CNA) de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (1999), en México 72,5 % de la población cuenta con alcantarillado y la cobertura de agua potable alcanza a 86,4%. En cuanto al tratamiento de aguas, existe un inventario de 914 plantas de tratamiento con una capacidad instalada de 63,1 m<sup>3</sup>/s. Sin embargo solamente se encuentran en operación 727 plantas que tratan 40,8 m<sup>3</sup>/s (ver tablas 1 y 2, en el anexo 1).

Las aguas residuales no tratadas se descargan en cauces, embalses y suelo, lo cual provoca un serio problema ambiental.

En la República Mexicana, el suministro de agua potable alcanza los 275,2 m<sup>3</sup>/s y la descarga de aguas residuales municipales e industriales alcanza 329,48 m<sup>3</sup>/s.

**Tabla 1. Volumen de descarga de aguas residuales industriales y municipales**

Origen de la descarga	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
Industrial	159,48
Urbana	
Localidades de más de 50.000 habitantes	134,36
Localidades de más de 10.000 hasta 50.000 habitantes	23,93
<b>Localidades de hasta 10.000 habitantes</b>	11,71
<b>Total</b>	<b>329,48</b>

## 2.2 Situación de las aguas residuales en el nivel local: coberturas y disposición

La Zona de influencia del Lago de Texcoco colinda con la Zona Metropolitana de la Ciudad de México y con los municipios de Texcoco, Atenco, Chimalhuacán y Nezahualcóyotl, del Estado de México.

**Tabla 2. Comparación de la cobertura de servicios de agua potable y alcantarillado en el área propuesta para el proyecto (en porcentaje)**

Servicio (cobertura en %)	Media Nacional	Distrito Federal (D.F.)	Estado de México	Municipio de Texcoco	San Felipe - Santa Cruz de Abajo
Agua potable	86,4	97,3	89,8	90	90
Alcantarillado	72,5	97,0	78,6	64	64



Como se observa en la Tabla 2, las áreas urbanas colindantes con la Zona Federal del Lago de Texcoco (Distrito Federal y Estado de México) tienen un porcentaje mayor de servicios en comparación con la media nacional. Sin embargo, en el municipio y localidades del área de influencia del Lago de Texcoco, las coberturas de alcantarillado son menores. Se debe tener en cuenta que la encargada de brindar los servicios en las localidades es una junta local.

En la Tabla 3 del Anexo 1, se relacionan las plantas de tratamiento del Valle de México, de acuerdo con los datos disponibles en el Informe Preliminar de la Comisión de Saneamiento, del Consejo de Cuenca del Valle de México.

### **2.3 Importancia del estudio: integración del sistema**

La superficie del Valle de México representa 1% del territorio del país y en él se asienta 20% de la población nacional, además de generarse allí la tercera parte del Producto Bruto Interno (PBI). Por ello, el Valle de México es la región del país con mayor concentración poblacional, debido principalmente a que ahí se ubica la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

Esa enorme concentración urbana e industrial ha generado desde hace varias décadas demandas crecientes de agua. Inicialmente, esta demanda se atendió con los recursos del subsuelo y posteriormente con la importación de agua de otras cuencas. Hasta la actualidad, los problemas de escasez, agravados por los problemas de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, así como los conflictos sociales que genera traer agua de otras cuencas, dificultan cada vez más el abastecimiento de los volúmenes que requieren los diferentes sectores de usuarios. Como consecuencia de ello, existen conflictos entre usuarios de distintos sectores, o entre usuarios del mismo sector pero de distintos municipios y/o estados.

El desarrollo de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México representa uno de los elementos centrales de la problemática, y al mismo tiempo rebasa el marco del manejo de los recursos hidráulicos. De hecho, se trata de un problema socioeconómico y político de ordenamiento territorial.

El crecimiento de las poblaciones y la actividad económica seguirán generando cuantiosas demandas adicionales de agua en la región. De continuar con las tendencias actuales de consumo y la contaminación de los cuerpos receptores, se acrecentará la degradación del medio natural y las actuales fuentes de abastecimiento serán insuficientes. Ello ocasionará mayores problemas para suministrar los servicios y limitará el desarrollo económico.

El desarrollo sustentable de la región, en su sentido más amplio, sólo es viable si se basa en el aprovechamiento racional de sus recursos hidráulicos, así como en la recuperación y preservación de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas.

La ejecución de un proyecto de reúso en una comunidad del área de influencia del Lago Texcoco es importante para establecer criterios de saneamiento local, que se puedan extrapolar para resolver el problema de contaminación por las aguas residuales y además se incremente la disponibilidad de agua para riego.

En lo referente al agua para riego en la Cuenca Oriente del Lago de Texcoco, las fuentes de abastecimiento corresponden a la extracción del acuífero, al uso del agua residual sin tratamiento y al aporte de agua durante el periodo de lluvias. Sin embargo, se presenta un cuadro complejo respecto a la explotación del acuífero, ya que la extracción es mayor que la recarga y la demanda de extracción para suministro de agua potable y uso en riego se incrementa cada día.

En este sentido, el Lago de Texcoco ofrece características particulares que hacen sumamente viable el establecimiento de un programa de tratamiento y reúso, ya que dispone de recursos humanos e instalaciones que permiten iniciar prácticamente de manera inmediata un programa de tratamiento para reúso. Además en la actualidad es un sitio importante para el control de las aguas residuales que se generan en una parte de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México y la cuenca tributaria oriente del Lago.

### 3. Objetivos

#### 3.1 General: situación actual y propuesta de integración

Establecer en la Zona Federal del Lago de Texcoco dos sistemas de tratamiento de agua residual, con la finalidad de utilizar el efluente de los mismos para reúso agrícola y producción de peces, que permitan hacer eficiente el uso del recurso hidráulico en la cuenca del Valle de México.

#### 3.2 Específicos: situación del tratamiento y del reúso, propuesta de integración

Actualmente el tratamiento de las aguas residuales en la Zona Federal del Lago de Texcoco se desarrolla en tres sistemas diferentes, cuyas características se señalan en la siguiente tabla.

**Tabla 3. Plantas de tratamiento de agua del Lago de Texcoco**

Características	Planta de tratamiento de aguas negras	Lagunas facultativas con recirculación	Módulo experimental de tratamiento terciario
Tipo de proceso	Lodos activados convencionales	Lagunas de estabilización	Fisicoquímico
<b>Caudal de diseño (Lps)</b>	1.000	500	50
Caudal de operación (Lps)	800	500	50
Tipo de agua residual	Urbana	Urbana	Urbana (proviene de la planta de lodos activados)
Procesos unitarios	Clarificador primario Digestión aerobia Clarificador secundario Cloración (fuera de uso)	<b>Laguna primaria</b> Laguna secundaria (ambas facultativas)	Fraccionador de espuma Floculación Filtro dual Torre de carbón activado Cloración

**Tabla 3. Plantas de tratamiento de agua del Lago de Texcoco (cont.)**

Características	Planta de tratamiento de aguas negras	Lagunas facultativas con recirculación	Módulo experimental de tratamiento terciario
<b>Reúso del agua tratada</b>	<p>Primario; conservación del Lago Nabor Carrillo.</p> <p>Secundario; actividades de riego en áreas de recuperación en la Zona Federal del Lago de Texcoco</p>	<p>Primario; conservación del Lago Nabor Carrillo.</p> <p>Secundario; además del riego en la Zona Federal del Lago de Texcoco, riego agrícola en el Ejido San Felipe – Santa Cruz de Abajo, y en el Relleno Sanitario Bordo Poniente</p>	<p>Primario; inyección al acuífero.</p> <p>Secundario; mantener nivel del Lago Recreativo (para conservación de avifauna).</p>

Nota: El nombre de las plantas corresponde a la nomenclatura oficial de la Gerencia del Lago de Texcoco.

Se encuentra en proceso de construcción otra planta de tratamiento de lodos activados por aireación a contracorriente (patente de la marca alemana Scheriber)<sup>1</sup>. En su primera etapa, tendrá 500 Lps de capacidad y una vez concluida alcanzará el caudal de 1.000 Lps.

Hasta el momento, las plantas de tratamiento de lodos activados y lagunas facultativas, han producido el agua residual tratada necesaria para su reúso en los trabajos de recuperación ambiental en el Lago de Texcoco. En el caso particular de las lagunas facultativas, su efluente también se utilizó en riego agrícola en una parte de los ejidos colindantes, pero no fue posible motivar a los agricultores de la zona para que dejen de explotar el acuífero y utilicen mayor cantidad de agua tratada.

Por lo tanto, los objetivos específicos de esta propuesta son los siguientes:

- a. Evaluar las condiciones actuales de reúso en una zona ejidal colindante con el Lago de Texcoco.
- b. Construir un nuevo sistema de lagunas de estabilización que permita obtener un efluente con menos de 1.000 coliformes fecales por cada 100 ml, con la finalidad de utilizarlo en el riego de 80 ha del ejido de San Felipe – Santa Cruz de Abajo.

<sup>1</sup> Dato proporcionado por el autor del estudio.

- c. Construir un módulo experimental de lagunas de estabilización, con el fin de utilizar su efluente para la engorda de peces en la estanquería piscícola de la Gerencia del Lago de Texcoco. El agua tratada reemplazaría al agua de pozo que se utiliza actualmente con este fin.
- d. Establecer el marco administrativo que permita mejores condiciones de reúso de agua residual tratada en los ejidos colindantes con la Zona Federal del Lago de Texcoco.

#### 4. Descripción general del área de estudio

##### 4.1 Nombre de la ciudad o cuenca

Zona Federal del Lago de Texcoco y el ejido San Felipe - Santa Cruz de Abajo, localizados en el Municipio de Texcoco, Estado de México. La Zona Federal y el Ejido se incluyen en la Zona Hidrológica VII denominada Texcoco, de la Cuenca del Valle de México.

##### 4.2 Ubicación geográfica

La Zona Federal está situada en el borde sur de la meseta central de México, aproximadamente entre las latitudes norte 19°03'24" y 20°11'09" y las longitudes 98°11'53" y 99°30'24" al oeste de Greenwich. Con una extensión superficial de 9.600 km<sup>2</sup>, está constituida por cadenas montañosas y lomeríos. Incluye territorio correspondiente a los estados de México, Hidalgo, Tlaxcala y prácticamente todo el Distrito Federal (Figuras 1, 2 y 3 del Anexo 2).

**Tabla 4. Entidad federativa y municipios que se incluyen en la Cuenca del Valle de México**

Entidad federativa	Municipios en la cuenca	Porcentaje respecto al total de la superficie de la cuenca (%)	Superficie (km <sup>2</sup> )
México	49	53	5.088
Hidalgo	15	27	2.592
D.F. (Delegaciones)	16	15	1.440
Tlaxcala	4	5	480
<b>TOTAL</b>	<b>84</b>	<b>100%</b>	<b>9.600</b>

La Zona Federal del Lago de Texcoco pertenece a la Cuenca del Valle de México, su superficie abarca principalmente parte de algunos municipios del Estado de México y colinda con la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

**Tabla 5. Ámbito administrativo del territorio de la Zona Federal del Lago de Texcoco**

Municipio	Estado	Porcentaje de la zona federal lago de Texcoco que le corresponde	Superficie aproximada (ha)
Texcoco	México	61,24	6.091,40
Atenco	México	27,62	2.747,50
Nezahualcóyotl	México	8,59	854,44

**Tabla 5. Ámbito administrativo del territorio de la Zona Federal del Lago de Texcoco (cont.)**

Municipio	Estado	Porcentaje de la zona federal lago de Texcoco que le corresponde	Superficie aproximada (ha)
Ecatepec	México	2,46	244,84
Chimalhuacán	México	0,06	5,92
Venustiano Carranza	D.F.	0,03	3,08

La parte montañosa de la subcuenca tributaria del Lago de Texcoco se encuentra situada entre los 18°50' y los 19°50' latitud norte, y entre 98°15' y 99°00' longitud oeste. Está delimitada al sur con el Parque Nacional Zoquiapán; al norte con las pirámides de Teotihuacán; al oeste con el ex Lago de Texcoco y al este con los estados de Tlaxcala y Puebla.

La superficie de la cuenca oriental es de 1.447,9 km<sup>2</sup> y está dividida en tres grandes zonas: noreste con 825,10 km<sup>2</sup>, oriente con 177,20 km<sup>2</sup> y sureste con 445 km<sup>2</sup>.

#### 4.3 Clima: temperatura, precipitación, humedad relativa y vientos

El clima en la Cuenca del Valle de México está condicionado por diferentes factores, tales como la altitud, humedad, vegetación, variaciones topográficas, entre otras características.

En general, el clima del Valle de México se clasifica como subtropical de altura, templado, semiseco y sin estación invernal bien definida, la temperatura media anual es de unos 15°C.

**Tabla 6. Tipos de clima en la Cuenca del Valle de México y área que representan del total de la cuenca**

Descripción del clima	Área en km <sup>2</sup>	Porcentaje del área total (%)
Templado Semiárido B siKw (w)	2.296,11	23,92
Templado Subhúmedo (wO)	2.995,00	31,20
Templado Subhúmedo cb (w1)	1.829,67	19,06
Templado Subhúmedo cb (w2)	1.355,42	14,12
Semifrío Subhúmedo cb (w2)	1.123,80	11,70

La temporada lluviosa en la Cuenca abarca generalmente los meses de mayo a octubre. En los demás meses sólo se registran lluvias aisladas. La precipitación media anual fluctúa entre los 385 y 1.400 mm. Las lluvias son intensas, concentradas y de corta duración. Durante una sola tormenta se puede precipitar entre 7 y 10% de lluvia media anual, y del total de lluvia que se precipita durante una tormenta, más de 50% lo hace sólo en 30 minutos. Durante la temporada de lluvia se precipitan entre 80 y 90% de lluvia del año, es decir aproximadamente 6.723,21 millones de m<sup>3</sup> en el área de la Cuenca.

Debido a las características geográficas de la cuenca y según el patrón de precipitación, sobre todo el hecho de que las lluvias son intensas, concentradas y de corta duración, la mayor parte de los ríos son de carácter torrencial con avenidas de corta duración. La Cuenca del Valle de México se divide en 11 zonas hidrológicas.

**Tabla 7. Zonas hidrológicas en la Cuenca del Valle de México**

No. de zona	Nombre de la zona hidrológica	Area (km <sup>2</sup> )	Precipitación media anual (mm)	Volumen (millones m <sup>3</sup> )
I	Xochimilco	522	869,0	453,62
II	Churubusco	234	1.085,0	253,89
III	Ciudad de México	725	822,0	595,95
IV	Cuautitlán	972	781,0	759,13
V	Pachuca	2.087	501,0	1.045,59
VI	Teotihuacán	930	555,0	516,15
VII	Texcoco	1.146	635,0	727,71
VIII	Tecomulco	1.124	979,0	1.100,40
IX	Chalco	637	700,0	445,90
X	Pan	690	681,0	469,89
XI	Tochac	533	666,0	354,98
	<b>TOTAL</b>	<b>9.600</b>		<b>6.723,21</b>

Fuente: Proyecto Lago de Texcoco, Rescate Hidroecológico, G. Cruickshank (1995)

La Zona Federal del Lago de Texcoco se encuentra en la Zona Hidrológica VII e incluye los ríos que descargan al oriente de la zona federal, sin contar al río San Juan Teotihuacán. Estos ríos son: Papalotla con sus dos brazos Santa Rosa y San Bartolo, Xalapango, Coxcacaco, Texcoco, San Bernardino, Chapingo, Coatepec y Santa Mónica. También descargan los ríos de la Compañía y Churubusco, provenientes de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

En las montañas, al Sur, SE y SO de la Cuenca, los valores de la evaporación son más bajos. En su parte N y NE la evaporación sobrepasa a la precipitación pluvial en la cuenca y puede llegar inclusive a valores de 1.800-2.200 mm en el Lago de Texcoco.

Los meses con promedio de humedad relativa más baja son enero, febrero, marzo, abril y mayo. En marzo por ejemplo se registra una humedad relativa promedio de 45%. De junio en adelante aumenta la humedad y en septiembre llega alcanzar un promedio de 75%.

#### **4.4 Ecosistema de la cuenca del Lago de Texcoco: descripción fisiográfica y recursos naturales**

##### **La cuenca tributaria del Lago de Texcoco**

La Subcuenca Oriental correspondiente al Lago de Texcoco estuvo expuesta a la tala inmoderada de sus bosques, al sobrepastoreo y al uso agrícola inadecuado de terrenos con pendientes pronunciadas. Esto propició la pérdida de la capa fértil de suelo al ser arrastrada hacia las partes bajas, lo cual provocó además el azolve de las obras hidráulicas. Por otro lado, el

afloramiento del tepetate<sup>2</sup> en miles de hectáreas, con la pérdida total de la vegetación, incrementó el efecto torrencial de las corrientes, aumentaron los picos de las avenidas y redujo la infiltración del agua en el terreno, además de disminuir la recarga de los acuíferos.

Los suelos de la cuenca presentan fuertes variaciones de acuerdo con la altitud, ya que hay diferentes tipos de materiales geológicos en la zona. Conforme a la clasificación FAO-UNESCO (1975) citada por el INEGI en 1982, las unidades de suelos en las tres zonas son:

Zona norte. Los principales suelos son los vertisoles y feozem (suelos cafés), localizados hasta el área próxima a los suelos salados del lago de Texcoco. Estas unidades de suelos ocupan 50% de la zona. En la parte media y alta se encuentran litosoles y cambisoles en 40% y 10% de faozem.

Zona oriente. Las unidades predominantes son los vertisoles en la parte baja con 20% del área. En la parte media, los litosoles y feozem con 40%, y en la parte alta los litosoles regosoles, cambisoles y andosoles, que ocupan 40% de la zona.

Zona sureste. En la parte baja hacia el ex Lago de Texcoco, y en la parte media se encuentran feozem háplicos y regosoles en 30% del área, mientras que en la parte alta de montaña hay litosoles y cambisoles en 50 y 65% respectivamente.

La topografía varía de acuerdo con la altitud ya que en las áreas bajas con cotas de 2.300 a 2.700 msnm, se presentan pendientes que varían entre 1 y 10%. En la parte media, las pendientes son de 10 a 20%, y en la parte alta son mayores a 20%, con un relieve que puede ser plano o abrupto, con valles, lomeríos y picos.

La vegetación principal en la zona baja de la cuenca corresponde a cultivos de cereales y leguminosas con algunos pastizales donde aflora el tepetate; en las zonas media y alta existen los zacatones<sup>3</sup>, bosques de encino y de oyamel, nopaleras, magueyales y bosques de pino, así como áreas con cultivos de maíz, frijol, cebada y trigo.

De acuerdo con los aforos practicados en los ríos tributarios, los gastos máximos y medios han disminuido de manera considerable en los últimos años. Esto es resultado principalmente de la construcción de presas para control de escurrimientos y azolves, las terrazas y zanjas trinchera, que propician la recarga de los mantos acuíferos y abaten los picos de las avenidas.

Hacia 1972, existían en la Cuenca Oriental del Lago de Texcoco 54.000 ha con diferentes grados de erosión, las cuales para 1986 disminuyeron a 36.000 ha básicamente por las acciones emprendidas en el Proyecto de recuperación Lago de Texcoco. Las actividades más relevantes ejecutadas para modificar la fisiografía de la cuenca a fin de revertir el proceso de deterioro al que estuvo sujeta son las siguientes:

---

<sup>2</sup> Roca que se emplea en la fabricación de casas. La tierra de mina que no tiene metal.

<sup>3</sup> Hierba alta de pasto.

- Construir presas escalonadas a lo largo de los cauces principales de los ríos, para controlar la erosión en las cárcavas<sup>4</sup> y disminuir la fuerza desgastante de las corrientes de agua, retener los azolves y propiciar la recarga de los acuíferos.

Los principales tipos de presas son de mampostería, gaviones y muros secos. Los criterios para la localización de estas presas fueron la existencia de cárcavas con diferentes grados de avance de erosión, escurrimiento, pendiente del cauce a rehabilitar, precipitación sobre el área de influencia de la cárcava, configuración, textura y estructura del suelo y el tipo de cobertura vegetal del terreno.

De 1973 a la fecha se han construido más de 1.300 represas, lo que permitió corregir aproximadamente 140 km de cauces. De acuerdo con lo anterior, el avance logrado en lo que respecta a presas en los diferentes ríos es el siguiente:

Se considera que en el río Texcoco se tienen obras para cubrir 85% del total necesario. En los ríos Xalapango y Coxacoaco hay 50% de obras. El Papalotla está cubierto con obras en 30%. El resto de los ríos (Coatepec, la Compañía y San Juan Teotihuacán), son los que cuentan con menos obras.

- Construcción de terrazas de tipo banco, o sea cortes y rellenos en terrenos con pendientes pronunciadas, elaborando una superficie plana en forma escalonada (bancal). Estos terraplanes entre bordos<sup>5</sup> de tierra, en sentido perpendicular a la pendiente máxima del terreno, tienen el propósito de reducir la erosión del suelo, aumentar la infiltración del agua, desalojar los excedentes de agua superficiales a velocidades no erosivas, reducir el contenido de sedimentos de las aguas que escurren y mejorar la superficie de los terrenos, además de acondicionarlos para labores agrícolas.

Una actividad complementaria a las terrazas es el subsoleo<sup>6</sup>, el cual se ejecutó en el área de corte de la terraza o en los terrenos muy degradados (tepetatales), con el objeto de romper las capas duras y acelerar el proceso de formación de suelos.

De 1973 a 1994 se aplicó terraceo con maquinaria pesada 1.438 km, y 5.350 km de subsoleo; los trabajos ejecutados en las subcuencas de los ríos beneficiaron 6.118 ha.

Las subcuencas con mayor cantidad de obras son las de los ríos Texcoco, Chapingo, San Bernardino y Santa Mónica con 80%. Asimismo, en las subcuencas de los ríos Coxacoaco, Xalapango y Papalotla se cuenta con 30% y en la del río Coatepec con 20%.

- Desarrollo de zanjas trincheras y las cepas comunes, que se construyeron a mano, principalmente en los terrenos de tepetates y en proceso de erosión, siguiendo las curvas de nivel, es decir, en forma transversal a la pendiente del terreno.

---

<sup>4</sup> Zanja o foso.

<sup>5</sup> Reparación de césped para detener las aguas en las tierras.

<sup>6</sup> Roturación de la roca



Con el producto de la excavación se formaron bordos, en los cuales se plantan varias especies de árboles. El objeto de esta obra es disminuir la fuerza agresiva de las corrientes de agua en las pendientes y favorecer su infiltración en el suelo.

Las características consideradas para establecer estas acciones fueron la presencia de erosión de leve a severa y con escasez de vegetación. De 1977 a 1993 se construyeron 1.299 km de zanjas trinchera y 540.000 cepas.

Las subcuencas con mayor cantidad de este tipo de obras son: Texcoco, Chapingo, San Bernardino y Santa Mónica, con 70-80% del estimado como necesario. Las que tienen menor cantidad son las de los ríos Papalotla, Coxacoaco, Xalapango y Coatepec con 30 a 40%.

- Plantación de árboles en zonas con nula o escasa vegetación, principalmente donde se realizan prácticas mecánicas (terraceo, subsoleo, cepas y zanjas trinchera) y que representa una de las actividades más importantes. Las especies seleccionadas (pino, eucalipto, casuarina y acacia) debido a su adaptación a las condiciones de suelo de tepetates y de escasa precipitación, y por ser especies de rápido crecimiento y formadoras de suelo.

Con el fin de disponer de las especies forestales seleccionadas, fue necesario establecer dos viveros con una capacidad de producción instalada de entre uno y dos millones de árboles al año.

De 1973 a 1994 se plantaron 23 millones de árboles. En la zona noreste de la cuenca 40% del total reportado; en la zona oriente 51% y en la zona sureste 9%.

### **Descripción de la Zona Federal del Lago de Texcoco**

La Zona Federal del Lago de Texcoco se localiza en la parte más baja de la Subcuenca y es alimentada por los siguientes ríos del oriente: Papalotla, Xalapango, Coxacoaco, Texcoco, Chapingo, San Bernardino, Santa Mónica y Coatepec; por el sureste los ríos San Francisco y la Compañía (canal de Ayotla) y por el sur el río Churubusco.

La descarga de estos ríos se debe a que los terrenos del lago correspondían a la parte más baja del Valle. En la actualidad, y debido al hundimiento de la Ciudad de México, el vaso<sup>7</sup> ha quedado hasta tres metros más alto que ésta. No obstante, el Lago de Texcoco continúa dando servicio como vaso regulador de corrientes naturales y artificiales.

La mayoría de los ríos de oriente que confluyen al lago tienen aportación nula en el estiaje. Pero en tiempos de avenidas debido a lo torrenciales que son, se llegan a desbordar antes de llegar a la parte baja. Se debe considerar que los asentamientos humanos están creciendo de manera acelerada, por lo que los trabajos ejecutados relativos a encauzamiento y rectificación de ríos en 83,6 km, sólo son una parte de las necesidades que se requieren como obras de defensa y control.

---

<sup>7</sup> Lagunas someras o cuerpos de agua profunda.

Como resultado del crecimiento de la Ciudad de México, la desecación del Lago dejó al descubierto alrededor de 15.000 ha de terreno con problemas excesivos de salinidad, sodicidad, alcalinidad y niveles freáticos someros, entre otros. Esto impidió la colonización por la vegetación natural del área, y generó durante las décadas de los años 60 y 70 problemas de contaminación en la Ciudad de México, derivados del arrastre por efecto del viento del material fino del suelo formando grandes tormentas de polvo (tolvaneras).

Los suelos del Lago de Texcoco están formados por la acumulación de azolves provenientes de la parte alta de la cuenca oriental del Valle de México, entre los que se encuentra una capa de ceniza volcánica. Presentan características físicas y químicas que los hacen especiales, por lo que las actividades de tipo agrícola o el desarrollo de vegetación se reduce a especies halófitas.

**Tabla 8. Comparación de las características físicas y químicas de un suelo común con las del suelo del Lago de Texcoco**

Característica	Suelo normal	Suelo del lago de Texcoco
Conductividad eléctrica (mmhos/cm a 25°C)	0 – 4	8 – 120
Sodio intercambiable (%)	0 – 15	20 – 99
Potencial de hidrógeno	6,5 – 7,5	8,5 – 11
Conductividad hidráulica (cm/h)	2,0 – 12,0	0,1 – 2,0

Una de las características físicas del suelo del lago de Texcoco que repercute en las actividades de riego y agricultura, es la presencia de arcillas expansivas (montmorillonita) y la capa de ceniza volcánica altamente hidratada (alófana)<sup>8</sup>. Este tipo de materiales pueden tener hasta 40% de agua. Sin embargo una vez deshidratados, no vuelven a retener la misma cantidad de agua, es decir, sufren una fuerte disminución de su volumen, lo que ocasiona pérdidas de agua y provoca la formación de grandes grietas que se manifiestan durante el riego.

Para los trabajos de recuperación, después de probar con diversas especies vegetales, se seleccionó un pasto salado nativo de la zona (*Distichils spicata*) y una especie forestal arbórea del género *Tamarix sp.*; ambas tienen la característica de ser halófitas, y resultan más apropiadas para plantarlas en el suelo del ex lago.

Los avances de los programas de sembrado de pasto y forestación permitieron controlar las tolváneras que se generaban en la zona, para lo cual se cumplió uno de los objetivos más importantes de este Proyecto. Sin embargo, hay que considerar que para sostener y mejorar la situación, es indispensable proseguir con las actividades de replantación, riego y drenaje en los terrenos de la Zona Federal del Lago de Texcoco.

<sup>8</sup> Alófana. Silicato de alúmina azul verdoso.

## Fauna del Lago de Texcoco

En la época prehispánica, el Valle de México era una gran zona lacustre rodeada por extensas zonas boscosas. En estos ambientes la fauna era abundante y aumentaba con la llegada de miles de aves migratorias.

Las culturas precolombinas basaron su economía en los productos que extraían de los lagos. Las aves fueron el recurso que más se utilizó en la fauna. Así formaron parte básica de la dieta de todas las clases sociales. Las plumas eran muy apreciadas y se utilizaban como elemento de trueque.

La desecación de los lagos ocasionó que la diversidad biológica tan característica de estos ambientes se viera amenazada por la pérdida de hábitat.

Como consecuencia de los trabajos de recuperación desarrollados por el Gobierno Federal, se incrementó la comunidad de aves que arriban a la zona y se recuperó parte de la avifauna nativa, por lo que en la actualidad el lago se ha convertido en el reducto avifaunístico.

En la medida en que los trabajos de recuperación del lago avanzaron, se pudo contar con vasos de agua permanentes (lagunas someras o cuerpos de agua profunda), así como zonas de tular, praderas y bosques, que ha favorecido significativamente a las aves que invernán y a las autóctonas.

Se han registrado 134 especies, de las cuales 74 son de ambientes acuáticos. Destacan por su abundancia las variedades relativas a los patos y aves de ribera, garzas y otras típicas de ambientes marinos como gaviotas y pelícanos blancos. Las 60 especies restantes habitan los bosques y pastizales.

En los diferentes ambientes recuperados en la zona se han establecido de manera permanente numerosas poblaciones de aves, las cuales han encontrado en la zona Federal del Lago de Texcoco las condiciones ambientales adecuadas para su reproducción. Se destacan las siguientes:

Aves de ribera o chichicuilotos. A estas singulares aves se les observa durante la primavera, pues forman numerosas colonias anidantes en zonas cercanas a lagunas someras. Dichas colonias están integradas por avocetas (*Recurvirostra americana*), monjitas (*Himantopus mexicanus*), tildios (*Charadrius vociferus*) y correlones (*Charadrius alexandrinus*).

Durante la primavera, en las áreas con vegetación acuática se observan de igual manera nidos de gallinas de agua (*Fulica americana*), gallaretas (*Gallinula chloropus*) y zambullidores (*Podiceps nigricollis*).

Las poblaciones de patos que se reproducen en la zona son las cercetas de alas azules (*Anas dicors*), cercetas de alas café (*Anas cyanoptera*), el pato tepalcate (*Oxyura jamaicensis*) y el pato mexicano (*Anas platyrhynchos diazi*). Es importante destacar que esta última población se ha logrado proteger, lo que es un éxito ya que hace un par de décadas los expertos la

consideraban en grave peligro de extinción inclusive en el nivel mundial, porque su hábitat había desaparecido. Ahora el lago de Texcoco ofrece un hábitat potencial para su reproducción, con lo que incrementa así el número de ejemplares en el mundo.

Las aves migratorias constituyen aproximadamente 80% del total de la comunidad. Estas proceden de Canadá y de algunos lugares del norte de Estados Unidos, incluida Alaska. Las temporadas durante las cuales se establecen son el otoño e invierno. Entre los grupos migratorios que arriban al ex lago se encuentran:

El pato bocón (*Anas clypeata*), el pato tepalcate (*Oxyura jamaicensis*), el pato golondrino (*Anas acuta*) y el pato Chalcuán (*Anas americana*), entre otros; diversas especies de garzas entre las que destacan la garza morena (*Ardea herodias*) y la garza pescuezuda (*Ardea alba*).

Ejemplos de aves rapaces: los gavilanes cola roja (*Buteo jamaicensis*), milanos de hombros negros (*Elanus caeruleus*) y el halcón peregrino (*Falco peregrinus*). Entre las aves de ambientes marinos destacan el pelícano blanco (*Pelecanus erythrorhynchos*), golondrinas de mar (*Sterna caspia* y *Chlidonias niger*), las gaviotas (*Larus pipixcan*), los cormoranes (*Phalacrocorax brasilianus*) y los rayadores (*Rynchops niger*).

Hasta hace unos años se desarrollaron programas de investigación ecológica y acciones con fines de conservación, con el propósito de preservar esta riqueza en fauna ya que el Lago de Texcoco constituye la única alternativa dentro del Valle de México de reunir en un área tan cercana a la ciudad un importante número de especies silvestres en libertad.

### **Infraestructura del Lago de Texcoco**

En la Zona Federal del Lago de Texcoco se cuenta además con la siguiente infraestructura e instalaciones:

- Cauces rectificadas para el control de las aguas residuales; las más importantes son: el Dren General de Aguas del Valle de México, los dos Brazos del río Churubusco, y el río de la Compañía.
- Lagos. De aguas residuales para control de picos de caudal, Churubusco y Regulación Horaria. De agua combinada Recreativo y Laguna de Xalapango. De agua residual tratada, el Lago Nabor Carrillo.
- Sistema de pozos para abastecimiento de agua potable (Ramal Peñón–Texcoco).
- Plantas de tratamiento. Se ubican tres sistemas en operación para el tratamiento de agua residual y se encuentra en proceso de construcción otra planta más. También se construye una planta para remover fierro y manganeso, que cuando entre en operación se tratará el agua del Ramal Peñón–Texcoco.
- Desde el año 2000, funciona en la Zona Federal el Centro Mexicano de Capacitación en Agua Potable y Saneamiento.

- En la Zona Federal, el Gobierno del Distrito Federal, deposita residuos sólidos de parte de la Ciudad de México, en un área denominada Relleno Sanitario Bordo Poniente.
- La Zona Federal se comunica con la Ciudad de México a través de la Autopista Peñón- Texcoco, cuyas direcciones van de oriente a poniente y viceversa.

#### 4.5 Actividad económica y consumo de agua en las Subregiones Valle de México y Tula

El lago de Texcoco y el Municipio del mismo nombre se incluyen en la Cuenca Valle de México, pero la problemática del recurso hidráulico se relaciona también con la Región de Tula. Por ello, para entender la dimensión del problema, se requiere asociar la actividad económica con la demanda de agua para toda la Región XIII Valle de México, de acuerdo con la división administrativa de la Comisión Nacional del Agua.

En los Estados que integran la región se genera 35,04% de Producto Bruto Interno nacional, de acuerdo con lo siguiente.

**Tabla 9. Contribución al Producto Bruto Interno nacional, de las entidades que integran la Región Valle de México**

Entidad	Porcentaje del PBI respecto al nacional
Distrito Federal	22,76
México	10,37
Hidalgo	1,39
Tlaxcala	0,52
<b>TOTAL REGIONAL</b>	<b>35,04</b>

Fuente: Sistema de cuentas nacionales de México; fecha de actualización 18 de abril de 2000.

La aportación de la región al PBI nacional, de acuerdo con los diferentes sectores productivos es la siguiente:

- Sector primario. Incluye agro, silvicultura, pesca, minería, extracción de petróleo crudo y gas natural: 0,50%.
- Sector secundario. Incluye industria manufacturera, construcción, electricidad, gas y agua: 9,73%.
- Sector terciario. Incluye comercios, transporte y comunicaciones, servicios financieros, servicios comunales, servicios bancarios imputados: 24,81%.

De acuerdo con lo anterior, actualmente la demanda total de los usos consuntivos regionales de agua se eleva a 4.406 millones de m<sup>3</sup>/año. Dentro de la Región Valle de México se han identificado los siguientes usos principales del agua: público-urbano, agrícola, industrial acuícola, pecuario y de servicio. Los sectores usuarios que más agua demandan son el agrícola y el público-urbano que representan 46% y 44% respectivamente.

**Tabla 10. Principales actividades económicas en la región y sus demandas de agua (en millones de m<sup>3</sup>/año por entidad federativa)**

Actividad	Distrito Federal	México	Hidalgo	Tlaxcala	Total
Público urbano	1.090	737	101	4	1.931
Agrícola	0	407	1.591	10	2.008
Industrial	32	110	113	1	256
Acuícola	0	9	14	0	23
Pecuario	nc	4	1	0	5
Servicios	5	25	6	0	35
Generación de energía termoeléctrica	0	13	27	0	40
Generación de energía hidroeléctrica	0	347	221	0	568
Múltiples	0	87	22	0	109
<b>TOTAL</b>	<b>1.128</b>	<b>1.390</b>	<b>1.874</b>	<b>15</b>	<b>4.406</b>

Fuente: Gerencia de Administración del Agua, de la Gerencia de Aguas del Valle de México.

En la región, los giros industriales (los principales demandantes de agua) corresponden a las industrias alimenticias, química, papeleras, textiles, embotelladoras, cerveceras, metal mecánica y cemento. En esos giros se concentra aproximadamente 80% de la demanda total de este sector usuario. El resto está conformado por la industria automotriz y de hule entre otros.

**Tabla 11. Principales actividades industriales y su demanda de agua (en millones de m<sup>3</sup>/año para cada entidad federativa)**

Tipo de industria	Distrito Federal	México	Hidalgo	Total
<b>Alimenticia</b>	1,0	58,1	1,5	60,5
Química	3	12,7	44,6	60,3
Papelera	1,3	35,4	-	36,6
Embotelladora	5,9	14,8	0,1	20,8
Cerveceras	11,6	-	-	11,6
Textil	2,5	3,4	1,9	7,8
Metal mecánica	0,3	6,0	0,4	6,7
Cemento	-	1,3	2,3	3,6
<b>TOTAL</b>	<b>25,5</b>	<b>131,6</b>	<b>50,8</b>	<b>207,9</b>

Fuente: Gerencia de Administración del Agua, de la Gerencia de Aguas del Valle de México.

Así, los usos público-urbano, agrícola e industrial, representan aproximadamente 95% de los usos consuntivos totales de la región, otro 5% está distribuido entre otros usos.

#### 4.6 Población económicamente activa del Municipio de Texcoco

De acuerdo con datos de la Dirección de Desarrollo Económico del Municipio de Texcoco, la población en edad de trabajar es de 124.220 habitantes, de la cual 50.185 (40,4%) son considerados como Población Económicamente Activa. De esta población, 97,3% se encuentra ocupada y se distribuye de la siguiente manera:

El 20,5% se dedica a la industria manufacturera, 17% a servicios comunales y sociales, y 14% al comercio. En conjunto, estas tres actividades concentran 51,5% del total de la población ocupada.

**Tabla 12. Población ocupada en el Municipio de Texcoco según rama de actividad**

Rama de actividad	Número absoluto	Porcentaje (%)
Agricultura, ganadería, caza y pesca	6.348	13,0
Minería	196	0,4
Extracción de petróleo y gas	146	0,3
Industria manufacturera	10.010	20,5
Electricidad y agua	537	1,1
Construcción	3.418	7,0
Comercio	6.836	14,0
Transportes y comunicaciones	2.344	4,8
Servicios financieros	439	0,9
Administración pública y defensa	2.100	4,3
Servicios comunales y sociales	8.302	17,0
Servicios profesionales y técnicos	928	1,9
Servicios de restaurantes y hoteles	1.318	2,7
Servicios personales y mantenimiento	416	9,2
No especificado	1.416	2,9
<b>TOTAL</b>	<b>48.830</b>	<b>100,0</b>

La actividad agrícola en este Municipio se desarrolla en un total de 10.780 ha, que representan 1,2% con respecto al estatal. El maíz es el principal cultivo, con 4.790,7 ha cosechadas, que representa 48,5% con respecto al total cosechado en el municipio.

Entre las principales especies pecuarias predomina el ganado bovino con 18.008 cabezas; siguen en orden de importancia el ganado porcino con 15.406; ovino con 11.967; el equino con 4.084 y el caprino con 2.862 cabezas.

Las actividades industriales, de servicios y comerciales se detallan a continuación.

Para el desarrollo de la actividad industrial, el Municipio cuenta con 374 establecimientos industriales, que representan 1,6% del total del Estado de México.

**Tabla 13. Número de establecimientos manufactureros en el Municipio de Texcoco**

Rama de actividad	Número absoluto	Porcentaje (%)
Fabricación de alimentos	149	39,8
Elaboración de bebidas	9	2,4
Industria textil	10	2,7
Fabricación de prendas de vestir	20	5,3
Fabricación de calzado e industria de cuero	3	0,8
Industria y producción de madera y corcho	18	4,8
Fabricación y reparación de muebles	10	2,7
Accesorios	3	0,8
Industria del papel	20	5,3
Industria editorial, de impresión y conexas	11	3,0
Industria química	50	13,4
Fabricación de productos de minerales no metálicos	57	15,3
Fabricación de productos metálicos	10	2,7
Fabricación, ensamble y reparación de maquinaria, equipo y sus partes	4	1,0
Otras industrias manufactureras		
<b>TOTAL</b>	<b>374</b>	<b>100,0</b>

Para el desarrollo del comercio el Municipio tiene un total de 2.209 establecimientos.

**Tabla 14. Número de establecimientos comerciales en el Municipio de Texcoco**

Tipo de comercio	Número absoluto	Porcentaje (%)
Comercio al por mayor	85	3,8
Compra-venta de material de desecho	6	0,2
Comercio de productos no alimenticios al por mayor. Incluye alimento para animales	70	3,2
Comercio de productos alimenticios, bebidas y tabaco al por mayor	9	0,4
Comercian al por menor	2.124	96,2
Comercio de productos alimenticios, bebidas y tabaco, al por menor en establecimientos especializados	1.219	55,2
Comercio de productos alimenticios al por menor en supermercados, tiendas de autoservicio y almacenes	13	0,6
Comercio de productos no alimenticios al por menor en establecimientos especializados	824	37,3
Comercio de productos no alimenticios al por menor, en tiendas departamentales y almacenes	5	0,2
Comercio al por menor de automóviles, incluye llantas y refacciones	59	2,7
Estaciones de gasolina	4	0,2
<b>TOTAL</b>	<b>2.209</b>	<b>100,0</b>

Los servicios son proporcionados por 1.513 establecimientos.



**Tabla 15. Número de establecimientos de servicios en el Municipio de Texcoco**

Servicios	Número absoluto	Porcentaje (%)
Servicios de alquiler y administración de bienes inmuebles	32	2,1
Servicios de alquiler de bienes muebles	44	2,9
Servicios educativos, de investigación, médicos de asistencia social y de asociaciones civiles y religiosas	283	18,7
Restaurantes y hoteles	356	23,5
Servicios de esparcimiento, culturales, recreativos y deportivos	72	4,8
Servicios profesionales, técnicos especializados y personales. Incluye los prestamos a las empresas	325	21,5
Servicios de reparación y mantenimiento	377	24,9
Servicios relacionados con la agricultura, ganadería, construcción, transportes, financieros y comercio	24	1,6
<b>TOTAL</b>	<b>1.513</b>	<b>100,0</b>

El Municipio de Texcoco cuenta con un total de 107,2 kilómetros de carreteras, de las cuales 99,4 km se encuentran pavimentadas y 7,8 km son revestidas, lo cual permite una estrecha comunicación con el resto del Estado.

Hay dos administraciones de servicio postal y dos agencias, dos administraciones de telégrafos y 36.608 aparatos telefónicos con 22.482 líneas.

Existen en el Municipio 226 escuelas, de las cuales 68 son de nivel preescolar, 81 primaria, 43 media básica, 19 media superior, 4 superior y 11 inicial, especial y capacitación para el trabajo, las que dan servicio a un total de 52.455 alumnos, atendidos por 3.481 maestros.

En cuanto al sector salud, existe un total de 20 unidades médicas, distribuidas en las principales localidades del Municipio: 1 hospital general, 2 clínicas, 16 consultorios y 1 clínica hospital. El personal médico que brinda atención a la comunidad suma un total de 310 personas: 130 médicos y 180 enfermeras.

#### **4.7 Actividad agrícola de la cuenca del Valle de México**

Administrativamente, en la Cuenca del Valle de México existen dos Distritos de Riego (73 La Concepción y 88 Chiconautla). Adicionalmente, existe un decreto para establecer el Distrito de Riego de Los Insurgentes con 24.000 ha. En su área de influencia se encuentran 32 aprovechamientos dispersos, de los cuales 31 son unidades de riego de agua residual superficial y 146 pozos de agua subterránea, además de unas 700 ha adicionales susceptibles de riego con agua de la Laguna de Zumpango.

Tomando en cuenta lo anterior, existe una superficie total de aproximadamente 14.800 ha de riego para fines agrícolas, más las tierras de temporal. La problemática fundamental se relaciona con la disponibilidad de agua y la variación mensual de la misma. En ese sentido, el

segundo trimestre del año es crítico ya que se presenta el período de estiaje y por otra parte, los productores demandan volúmenes importantes para preparar sus tierras de cultivo.

El sector agrícola se caracteriza entre otras situaciones por los suelos de mala calidad y baja productividad, y por una débil estructura organizativa.

#### 4.8 Abastecimiento de agua y saneamiento en la Región Valle de México

La disponibilidad natural media de agua en la región se estima en 3.300 millones de m<sup>3</sup> y la disponibilidad natural media per cápita en la región es la más baja del país con 170 m<sup>3</sup>/hab/año, en tanto que la media nacional es de casi 5.000 m<sup>3</sup>/hab/año.

La cobertura media de servicios de agua potable en la región es alta (96%) en relación con la media nacional de 87%, principalmente por el peso ponderado que tiene la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Sin embargo, para comunidades rurales de la cuenca la cobertura es de 43% y para localidades media urbana de 89% (poblaciones de menos de 50.000 hab).

De la misma manera, la cobertura de alcantarillado en la región es de 90% (la mayor del país), la cobertura media nacional es apenas de 73%.

En la región existen 41 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, con una capacidad instalada de 8.665 L/s. Actualmente se están procesando 4.355 L/s que representan 50% de la capacidad instalada y 12,7% de las aguas urbanas generadas.

Algunos de los principales centros de población y sus coberturas (reportadas por los propios organismos operadores) se muestran a continuación.

**Tabla 16. Cobertura de los servicios en los principales centros urbanos de la Región Administrativa Valle de México**

Centro urbano (por entidad)	Población (No. habitantes)	Agua potable (%)	Alcantarillado (%)	Saneamiento (%)	Demanda de agua potable (millones de m <sup>3</sup> /año)
Distrito Federal					
Ciudad de México	8.591.309	97	97	15	1.090
Hidalgo					
Pachuca	244.688	95	93	0	22
Tula de Allende	86.782	70	60	0	8
Tepegi del Río	67.573	95	70	0	<b>6</b>
Actopán	45.946	98	95	0	4
Ixmiquilpán	75.725	80	83	0	7
México					
Ecatepec de Morelos	1.659.090	91	88	18	151
Nezahualcoyotl	1.164.705	100	99	3	105
Naucalpán de Juárez	825.817	95	85	2	75
Tlalnepantla	690.760	96	96	2	63
Chimalhuacán	558.354	65	75	0	51

## **5. Descripción del sistema de tratamiento de las aguas residuales**

En esta sección se describe el sistema de Lagunas Facultativas con Recirculación, planta de tratamiento que actualmente se encuentra en operación.

### **5.1 Características de la planta de tratamiento: instalaciones y procesos**

Debido a los grandes volúmenes de aguas que demandaba la recuperación ecológica de la zona del Lago de Texcoco y en vista del gasto medio de aguas residuales disponibles en el lago, resultaba evidente considerar el aprovechamiento de estos volúmenes en las tierras de riego localizadas fuera de la zona, mediante el tratamiento y reúso de esta agua para cubrir las crecientes demandas de aquellas actividades que no requieren agua de calidad potable. Una alternativa de tratamiento que respondía a estas expectativas fue la de lagunas de estabilización.

Las Lagunas Facultativas con Recirculación se diseñaron con base en la experiencia de una planta similar que opera desde 1972 en Tel Aviv, Israel, en la que se tienen en cuenta las condiciones climatológicas específicas del área de Texcoco y la calidad de las aguas residuales del río Churubusco.

La planta de tratamiento tiene forma de semicírculo y una capacidad nominal de 500 Lps dividida en dos módulos de 250 Lps cada uno, los cuales funcionan en paralelo y son independientes entre sí. Cada módulo de la planta tiene la forma de un cuarto de círculo e incluye dos lagunas primarias y una laguna secundaria (ver Figura 4 del Anexo 2).

La planta se localiza entre el dren Chimalhuacán I, el lago Nabor Carrillo, la Planta de Tratamiento Lodos Activados y el Dren General del Valle de México.

Debido a las características de los suelos de la zona, principalmente en lo referente a la baja capacidad de carga, alto contenido de humedad, carácter salino-sódico y al hecho de la presencia de un acuitardo<sup>9</sup> superficial con características salinas muy definidas, no se excavó el terreno sino más bien se construyeron diques con material de préstamo (una arcilla de origen volcánico conocida localmente como tepetate). Los terraplenes forman el diámetro exterior de las lagunas secundarias y las secciones correspondientes a las divisiones interiores de las lagunas primarias.

Las demás divisiones físicas de las lagunas corresponden a estructuras de concreto reforzado, que las separan entre sí y a su vez permiten la conducción del agua. Este es el caso del canal perimetral interior que separa las lagunas primarias de las secundarias, y a su vez opera como conducción del efluente de las lagunas primarias. El canal que corresponde al límite en el diámetro de las lagunas secundarias también funciona como canal de alimentación para las mismas. Finalmente, el canal central conduce las aguas tratadas hasta el cárcamo<sup>10</sup> de bombeo.

---

<sup>9</sup> Formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable pero que el agua circula de ella con dificultad.

<sup>10</sup> Pozo

Los taludes húmedos de los terraplenes se protegieron con concreto para evitar el problema de erosión por oleaje. El fondo de las lagunas no requirió ningún tipo de revestimiento ya que el suelo de la zona es impermeable, constituido por una arcilla.

Las Lagunas Facultativas con Recirculación se diseñaron en 1983. En esa época, el problema fundamental de control de la contaminación se asociaba con la descarga de materia orgánica, sin que se tomara en cuenta el aspecto de calidad microbiológica. Es por ello que el criterio de diseño de la laguna fue la carga orgánica, sin que en el diseño original se hubiera considerado la remoción de coliformes (totales y fecales).

Se seleccionaron las siguientes cargas orgánicas:

- 400 kg DBO/ha/día para las lagunas primarias
- 150 kg DBO/ha/día en promedio para todas las lagunas

Se estableció el radio total de las lagunas en 650 m y el radio de las lagunas primarias en 400 m, con tiempo total de residencia hidráulico de 23 días (9 en las lagunas primarias y 14 en la secundaria). La superficie total es de 66,4 ha; cada laguna primaria tiene 6,3 ha y cada laguna secundaria tiene 10,3 ha.

Se consideró una profundidad de 1,5 m en todas las lagunas. A ésta se agregó un metro de bordo libre, tomando en cuenta la altura máxima posible de las olas que pueden producir los vientos de la zona.

La recirculación de parte del agua tratada se consideró como medida preventiva para evitar la generación de mal olor en el sistema. De acuerdo con esto, es importante aclarar que actualmente la recirculación se ha venido considerando como una medida correctiva, sobre todo en el período de lluvias y en invierno para favorecer la productividad primaria principalmente en las lagunas primarias.

En el diseño original del sistema de recirculación, se tomó en cuenta la información generada en lagunas similares que operaban en Israel y Sudáfrica. Para el diseño de la planta de Texcoco, se tomó en cuenta una tasa de recirculación promedio de 2:1 (para el caudal de diseño). Por lo anterior, las lagunas tienen capacidad hidráulica es para 1.000 Lps en las estructuras de conducción.

## **5.2 Caracterización del crudo y los efluentes: caudales y calidad sanitaria**

El agua residual tratada en las Lagunas Facultativas con Recirculación proviene del suroriente de la ciudad y llega a la Obra de Toma de agua cruda por el cauce denominado Brazo Derecho del Río Churubusco.

Debido a las condiciones de operación de la infraestructura de drenaje de la Ciudad de México, el agua debe ser bombeada para enviarla al río Churubusco. Por esta razón, el caudal de operación no está sujeto a un régimen de escurrimiento de la cuenca tributaria, y debido al

bombeo el rango de conducción se mantiene entre 4,0 y 9,0 m<sup>3</sup>/s durante el estiaje y en 28,0 m<sup>3</sup>/s en el periodo de lluvias.

En cuanto a la calidad de las aguas crudas y el efluente de la planta, en la siguiente tabla se presenta los valores promedio:

**Tabla 17. Características del crudo y efluente de las lagunas facultativas**

Parámetro	Crudo	Efluente
DBO <sub>5</sub>	140	21
Potencial de hidrógeno	7,8	8,9
Conductividad eléctrica (mmhos/cm <sup>2</sup> )	1.950	2.120
Demanda química de oxígeno(s)	340	68
Nitrógeno amoniacal	23	4,5
Cloruros	280	270
Sodio	335	340
Sulfatos	160	120
Boro	1,4	1,24
Cromo	menor a 0,0016	menor a 0,0016
Coliformes fecales (NMP/100ml)	22,6 E + 06	6,1 E + 04

Nota: Todos los parámetros en mg/litro, salvo que se indique lo contrario.

### 5.3 Indicadores de eficiencia: remoción de materia orgánica, nutrientes y patógenos

La planta opera con los siguientes porcentajes de eficiencia de remoción:

- Para DBO soluble: 85%
- Para ortofosfatos: 33%
- Para coliformes fecales: 99,73%

Es importante señalar que recientemente se deterioró el canal de efluente, lo que provocó la mezcla de agua de las lagunas primarias con el efluente. Por ello, el agua descargada a los receptores presenta un incremento en la cuenta de coliformes fecales. Dependiendo de las condiciones de operación hidráulica, el incremento puede ser de hasta 5,3 E + 05 coliformes fecales por cada 100 ml.

Se debe considerar también que el valor de conductividad eléctrica en el efluente tiene su origen en la calidad del agua cruda, la misma que está sujeta a fluctuaciones asociadas con el aporte de agua salobre de la zona.

#### 5.4 Disposición final de los efluentes: descarga a ambientes acuáticos y reúso

A continuación se relacionan los tipos de reúso del efluente de las Lagunas Facultativas con Recirculación. Por la importancia que tiene el Lago Nabor Carrillo en los trabajos de recuperación ambiental, conservación de la fauna silvestre y su uso potencial en la producción de peces, se detallan algunos aspectos relevantes del embalse.

**Tabla 18. Caudales de reúso del agua de las lagunas facultativas con recirculación**

Reúso	Durante período de estiaje (m <sup>3</sup> /s)	Durante período de lluvia (m <sup>3</sup> /s)
Almacenamiento en el Lago Nabor Carrillo, para su posterior extracción y uso en trabajos de colocación de pasto y forestación	0,295	0,490
Riego agrícola en ejidos del Municipio de Texcoco	0,175	0,0
Riego de caminos de operación, áreas de proceso y en etapa de cierre en el Relleno Sanitario Bordo Poniente	0,030	0,010
<b>TOTAL ( m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>0,500</b>	<b>0,500</b>

El lago Nabor Carrillo es el principal receptor final de las aguas tratadas en las lagunas facultativas y en la planta de lodos activados. Es un embalse artificial que se construyó con la finalidad de almacenar y regular las aguas residuales y los escurrimientos pluviales de los ríos de la cuenca oriental. Lo anterior es un elemento fundamental del programa para restaurar y aprovechar racionalmente los recursos del Lago de Texcoco, a fin de contribuir al abastecimiento de agua de la zona metropolitana y otras poblaciones, así como para brindar un hábitat apropiado para las aves acuáticas migratorias y nativas. Actualmente y como consecuencia de la diferencia de nivel entre la descarga de los ríos de oriente y el nivel de operación del lago, el principal aporte de agua para el embalse es la descarga de las plantas de tratamiento.

Para su construcción se aprovechó la compresibilidad de los suelos arcillosos de la zona. Se perforó una batería de 180 pozos de bombeo a 65 m de profundidad dispuestos en el lugar seleccionado para construir el lago con el fin de extraer agua y provocar el hundimiento del suelo. Mediante bombeo ininterrumpido durante cinco años (1973–1978) se provocó una depresión del suelo de aproximadamente 3,60 m. Se obtuvieron así 12 millones de metros cúbicos de capacidad de almacenamiento. Posteriormente, se construyó un dique perimetral de baja altura, con una longitud de 11 km, para rodear la zona hundida e incrementar al doble la capacidad inicial. Finalmente, el peso del agua almacenada en el lago produjo un hundimiento adicional de 1,5 m. La capacidad final resultante fue de 36 millones de metros cúbicos de agua, en 920 ha y una profundidad media de 2,3 m.

El agua del lago Nabor Carrillo es reutilizada para riego en los trabajos de recuperación de la zona, principalmente lo referente a lavado de suelo, colocación de pasto y forestación. Además, durante un tiempo se efectuaron bioensayos con tilapia, para evaluar la respuesta de los organismos a las condiciones del medio. Sin embargo, debido a cambios en los programas de la institución, estos bioensayos no se concluyeron.

De acuerdo con un estudio elaborado entre abril de 1999 y febrero de 2000, el valor promedio de la temperatura del agua en el Lago Nabor Carrillo es de 17,8°C, lo que confiere al embalse un carácter de cuerpo de agua cálida. Los valores mínimo y máximo de abril de 1999 a febrero de 2000 fueron de 11,5°C y 24,0°C, respectivamente. Presenta un régimen superficial dividido en dos temporadas; de abril a septiembre con valores de 19,8°C y de octubre a febrero con valores de 14,5°C.

Por la importancia que pudiera tener el lago en la producción de peces, a continuación se presentan algunos parámetros de calidad que se deben tener en cuenta para evaluar la factibilidad de desarrollo de esta actividad:

- Oxígeno disuelto. El promedio es de 9,3 mg/L; presenta valores mínimos de 4,7 mg/L y 1,9 mg/L en la parte media y el fondo de la columna de agua respectivamente.
- Conductividad. En promedio 4.941 mScm-1.
- Coliformes fecales no detectados en la mayor parte del embalse. Solamente en la zona donde descargan las plantas de tratamiento, se alcanzan valores de 2,4 E10+05. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que en el lago también descarga la planta de lodos activados y la eficiencia de remoción de patógenos de este sistema no es tan alta como en el caso de lagunas facultativas.
- Sólidos disueltos totales. Entre 1.755 y 2.888 mg/L.
- Cloruros de 880 a 848 mg/L.
- Sulfatos de 211 a 220 mg/L.
- Metales pesados, se encuentran en concentración menor a las establecidas por la normatividad para uso en riego agrícola y conservación de la vida acuática.

En segundo término, el agua residual producida por las lagunas facultativas se reúsa para riego agrícola en el ejido San Felipe - Santa Cruz de Abajo.

La mayor demanda de agua para reúso agrícola se presenta durante el período de febrero a junio. Una vez establecido el período de lluvias, los agricultores dejan de necesitar agua tratada. El caudal requerido para esta actividad es muy variable y depende de la cantidad de usuarios que efectúen la solicitud correspondiente.

Durante 1999 y 2001, el caudal suministrado se mantuvo en el rango de 0,050 a 0,250 m<sup>3</sup>/s según el mes, aunque el promedio fue de 0,175 m<sup>3</sup>/s.

En menor proporción se encuentra el reúso en un sistema de disposición de residuos sólidos provenientes de un sector de la Ciudad de México, el Relleno Sanitario Bordo Poniente. El agua es transportada hasta el lugar de reúso mediante camiones cisterna de 40 m<sup>3</sup> de capacidad, y se utiliza en el proceso de compactación de la cubierta final de residuos, riego de

caminos de operación y áreas en proceso de clausura (forestadas y/o pastizadas). En este caso también se presenta variación significativa de la demanda de agua, ya que el mayor volumen reutilizado corresponde a los meses de octubre de un año a junio del siguiente con el valor máximo entre los meses de marzo y junio. En este período el reúso alcanza el valor de 30 Lps.

## **6. Descripción de las actividades de uso de aguas residuales**

### **6.1 Zona agrícola regada con aguas residuales en el Valle de México**

En el Valle de México, la agricultura es una actividad que requiere volúmenes importantes de agua. Sin embargo, 65% de los requerimientos para riego se satisfacen en agua residual sin tratamiento.

La mayor parte de la superficie agrícola del Valle se ubica en el Estado de México, y alcanza la cantidad de 14.830 ha, por lo que se puede estimar que la superficie sujeta a riego con agua residual sin tratamiento es del orden de 9.600 ha.

Los patrones de uso agrícola se caracterizan por el empleo de una lámina anual de 203 cm, muy elevada para los cultivos.

Sin embargo, la falta de capacidad de regulación, las características de los sistemas de riego y sus condiciones de operación determinan la baja eficiencia en el uso del recurso.

Los cultivos para los que se destina mayor superficie son: maíz para grano, remolacha, avena y maíz forrajeros, alfalfa y frijol.

También hay una superficie destinada para las hortalizas, pero no es representativa respecto al total de superficie destinada para los cultivos mencionados.

En los siguientes ítems, solamente se hará mención a lo correspondiente a la zona del Municipio de Texcoco.

### **6.2 Sistema de riego utilizado en la Zona del Lago de Texcoco: infraestructura, caudales y métodos de riego**

En la zona, el sistema de riego con aguas residuales es generalmente por gravedad, por canales rústicos, y en el menor de los casos, las extracciones se ejecutan con bombeo.

No se cuenta con un inventario respecto a la superficie sujeta a riego con agua residual, ya que inclusive para un mismo ejido, una parte puede recibir riego con agua del acuífero y otra con agua residual.



### 6.3 Otras actividades de reúso existentes

En lo que respecta al reúso de agua residual sin tratamiento, existe en la zona de estudio una planta de tratamiento de la Comisión Federal de Electricidad, que trata agua residual para reúso en la termoeléctrica Valle de México.

## 7. Evaluación económica (en US\$)

### 7.1 Costos de inversión y operación de las Lagunas Facultativas con Recirculación

En 1983 se estimó que la planta de Lagunas Facultativas con Recirculación tendría un costo de construcción de aproximadamente US\$3 millones. Todos los recursos requeridos fueron aportados por el Gobierno Federal. La supervisión y elaboración del proyecto y la ejecución de los trabajos estuvo a cargo de la entonces Comisión del Lago de Texcoco. El costo de inversión correspondió exclusivamente a la construcción de la planta. No se incluyó el costo del terreno ya que la Zona Federal del Lago de Texcoco pertenece a la Federación y por lo tanto no fue necesaria erogación alguna para la adquisición.

Su costo actual de operación es de 0,99 centavos de dólar americano por m<sup>3</sup> de agua tratada, el cual comprende todo el proceso es decir desde el bombeo de agua cruda hasta el bombeo de efluente de las lagunas secundarias ya que no hay reúso de las lagunas primarias.

**Tabla 19. Costo anual de operación para la planta de tratamiento, Lagunas Facultativas con Recirculación (US\$)**

Rubro	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo mensual	Costo anual
Supervisor	Mes	0,3	1.100	330	3.960
Operadores	Mes	12	463	5.556	66.672
Análisis agua	Lote	2	50	100	1.200
Mantenimiento	Jornal (por mes)	10	16	160	1.920
Materiales	Lote	1	1.200	1.200	14.400
Pago de energía eléctrica	Lote	1	5.750	5.750	69.000
<b>TOTAL</b>					<b>157.152</b>

Nota: El pago de energía eléctrica incluye lo referente al consumo para el bombeo del crudo y del efluente.

## 8. Impactos ambientales del manejo de las aguas residuales y la actividad de reúso

### 8.1 Impactos positivos existentes en el ambiente y la salud

En vista de la importancia de los trabajos de recuperación ambiental desarrollados en el Lago de Texcoco y los resultados obtenidos (aspectos en los que el reúso del agua residual tratada ha sido de gran valor), se puede afirmar que el impacto es positivo sobre el ambiente y la salud, tal como se detalló en puntos anteriores.

Por otra parte, en el presente documento se propone el desarrollo de un proyecto de reúso que involucre a la Gerencia Lago de Texcoco y a las comunidades agrícolas de su área de influencia, por lo que los impactos positivos de la ejecución del mismo serían los siguientes:

- Reducir el riesgo de enfermedades entre los actuales usuarios de aguas crudas.
- Evitar que el agua de la Región Hidrológica de Texcoco se exporte a otra región.
- En la medida en que el agua residual tratada se reutilice en la localidad que la genera, se alcanzarán mejores condiciones de balance hidráulico.

Se debe tomar en cuenta que en la Región Hidrológica VII Texcoco, la principal fuente de abastecimiento para los diferentes usos consuntivos es el acuífero, el cual se encuentra sobreexplotado. Por lo tanto según se reutilicen las aguas residuales en la zona, se obtendrá una reducción en el nivel de explotación del acuífero, sin detrimento de las necesidades de riego de los productores.

## **8.2 Impactos negativos al ambiente y la comunidad de las nuevas plantas propuestas**

La propuesta de construcción de nuevas plantas de tratamiento de aguas residuales (lagunas) plantea que éstas se construyan en los terrenos correspondientes a Zona Federal del Lago de Texcoco, específicamente en dos lugares situados a una distancia aproximada de 3 km de los núcleos poblacionales. Por lo tanto su construcción y operación no representa fuente de impactos negativos para el ambiente o la comunidad.

Se debe tener presente que, por las características del suelo de la zona, el riesgo de infiltración de contaminantes es prácticamente nulo.

Por otra parte, la propuesta de reúso del agua corresponde al mismo esquema existente, ya que la Gerencia Lago de Texcoco inició el suministro de agua para riego, por lo que el programa de reúso, en sí mismo implica la posibilidad de reducir la superficie sujeta a riego con agua residual sin tratar en la zona ejidal colindante con el lago.

## **8.3 Medidas implementadas para mitigar los impactos negativos**

De acuerdo con lo expresado en los puntos anteriores, en principio no se considera necesario establecer medidas de mitigación para impactos negativos, ya sea durante el proceso de construcción de las plantas de tratamiento y/o durante su operación.

Es importante tomar en cuenta que, por la modalidad de tenencia de la tierra en la Zona Federal y en el ejido seleccionado, es poco probable el desarrollo de nuevas comunidades que pudieran establecerse en áreas cercanas a la planta de tratamiento. Además si el proyecto es productivo, se espera que no cambie el tipo de uso de suelo; por el contrario, se incorporarán más ejidatarios al programa de reúso.

## **9. Marco legal**

### **9.1 Normas legales vigentes sobre tratamiento y uso de las aguas residuales**

La Ley Federal de Derechos en Materia de Agua, editada por la Comisión Nacional del Agua en enero de 2001, en su Capítulo XVI, Artículos 276 y 277, contempla que están obligados a pagar el derecho por uso o aprovechamiento de bienes del dominio público de la Nación como cuerpos receptores de las descargas de aguas residuales, las personas físicas o morales que descarguen en forma permanente, intermitente o fortuitamente aguas residuales en ríos, cuencas, cauces, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua, así como los que descarguen aguas residuales en los suelos o las infiltren en terrenos que sean bienes nacionales o que puedan contaminar el subsuelo o los acuíferos. En particular, el Artículo 277 indica y define los tipos de contaminantes, y hace mención a los patógenos y parásitos.

El Artículo 278-B establece los límites máximos permisibles para contaminantes básicos, metales pesados y cianuros. Así mismo, se menciona allí que para coliformes fecales el límite máximo permisible es de 1.000 como NMP por cada 100 ml. El Artículo 278-C, se refiere al cálculo del monto de derechos a pagar cuando la descarga de agua sea mayor que el valor antes referido.

Por otra parte, la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 indica en su apartado 4 lo siguiente:

*“Para determinar la contaminación por patógenos se tomará como indicador a los coliformes fecales. El límite máximo permisible para las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, así como las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola) es de 1.000 y 2.000 como número más probable (NMP) de coliformes fecales por cada 100 ml para el promedio mensual y diario, respectivamente. Para determinar contaminación por parásitos, se tomarán como indicadores los huevos de helminto; el límite máximo permisible para las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola) es de cinco huevos de helminto por litro para riego no restringido y de un huevo por litro para riego restringido”.*

## **10. Aspectos socioculturales**

### **10.1 Aspectos generales de la población involucrada**

Como se señaló, la Zona Federal del Lago de Texcoco está libre de asentamientos humanos y la población asociada corresponde al medio rural y urbano. Se debe recordar que la Zona Federal del Lago de Texcoco colinda con municipios del Estado de México, que pertenecen a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México y hacia el oriente con los municipios de Atenco y Texcoco, del Estado de México cuya población es urbana y rural. En el ítem 4.6 de este documento se indicaron los aspectos generales de la población involucrada del Municipio de Texcoco.

## **10.2 Aspectos sobre tenencia y uso de la tierra**

Se propone el desarrollo del proyecto de tratamiento y reúso sobre la base de que, por el tipo de tenencia de la tierra en la Zona Federal del Lago de Texcoco, en principio no existe un costo directo derivado de la adquisición del terreno para las plantas de tratamiento.

La Zona Federal del Lago de Texcoco está administrada por la Gerencia del mismo nombre, y la superficie que la conforma quedó establecida por un Acuerdo Presidencial de fecha 23 de junio de 1971, que delimitaba aproximadamente 14.500 ha como Zona Federal a cargo del entonces Proyecto Texcoco. Con fecha 16 de noviembre de 1982 se desincorporaron 2.900 ha a título gratuito, a favor del Gobierno del Estado de México. Luego se modificaron los linderos de la Zona Federal, hasta alcanzar la superficie actual estimada en 9.947,21 ha.

El uso del terreno en la Zona Federal se ha venido modificando, en la medida en que se cumplen los objetivos establecidos para cada etapa del proyecto de recuperación. Pero es obvio que el uso primordial del terreno está asociado a la necesidad de recuperar y preservar este ambiente para reducir los problemas de contaminación en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Actualmente, destaca el uso que se le da al terreno en función de la infraestructura hidráulica existente en la zona, que permite controlar las descargas de aguas residuales del suroriente de la Ciudad de México y de los ríos tributarios de la subcuenta del Lago.

En el caso del ejido San Felipe–Santa Cruz de Abajo, la tenencia y uso de la tierra está determinada por la Ley Agraria en la modalidad de ejido. El área propuesta para el desarrollo del proyecto corresponde a las parcelas de 40 ejidatarios. Cada parcela tiene una superficie de dos hectáreas, por lo que la superficie total propuesta alcanza las 80 ha. Los ejidatarios están en condición de usar plenamente estos terrenos en el marco de la Ley correspondiente. El ejido corresponde a la zona ejidal de la cabecera Municipal de Texcoco.

Es importante destacar que es posible cambiar la modalidad de tenencia y uso del suelo, principalmente en la zona ejidal, como consecuencia del proyecto que pretende establecer el nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México en terrenos del municipio vecino de Atenco. Por lo anterior, se ha tratado de que el área sujeta al programa de reúso se ubique lo más cerca posible a la Zona Federal; se espera que esto reduzca el posible cambio de modalidad de tenencia, en caso de que el aeropuerto se construya finalmente en esta área.

## **10.3 Aspectos culturales relacionados con las aguas residuales**

En los ríos de oriente que desembocan en la Zona Federal del Lago de Texcoco, se presentan condiciones extremas de contaminación por aguas residuales. De hecho, estos ríos son utilizados como colectores de los sistemas de drenaje. Esto implica que no existe formalmente una cultura respecto a evitar la contaminación de las aguas superficiales por la descarga de agua residual.

El uso de agua residual sin tratamiento para riego agrícola es una práctica que se generaliza cada vez más en la zona propuesta para el proyecto, ya que los agricultores están

usando el agua residual a consecuencia de la falta de otras fuentes. Cabe destacar que no disponen de orientación respecto a las prácticas para el reúso seguro del agua cruda.

#### **10.4 Aspectos de organización**

Para la evaluación de la viabilidad del proyecto, se debe tomar en cuenta que su planteamiento involucra un área del Gobierno Federal y a un grupo de usuarios (particulares). El proyecto se plantea para que se aproveche la relación existente entre la Gerencia Lago de Texcoco y los productores del ejido de San Felipe–Santa Cruz de Abajo.

Por lo expuesto la organización que se debe considerar es la siguiente:

La Gerencia Lago de Texcoco forma parte de la Gerencia Regional de Aguas del Valle de México, de la Comisión Nacional del Agua, órgano descentralizado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Esta Gerencia Regional tiene como ámbito administrativo a las cuencas hidrológicas del Valle de México y del río Tula.

La Gerencia Lago de Texcoco tiene un titular que es el Gerente, un área administrativa y dos subgerencias que ejecutan programas en el ámbito agrícola, forestal, de infraestructura hidráulica y sistemas de tratamiento.

El personal técnico de la Gerencia Lago de Texcoco incluye la mayor parte de especialidades técnicas para la ejecución de un proyecto de reúso. Se cuenta con áreas de estudios y proyectos, precios unitarios, operación de plantas de tratamiento, riego y drenaje, forestación, sembrado de pasto, producción piscícola, entre otras.

La organización en el ejido San Felipe - Santa Cruz de Abajo se rige por lo establecido en la Ley Agraria y considera que el ejido es un grupo de población campesina, que luego de la Ley Agraria del 6 de enero de 1915 dispone de un conjunto de tierras, bosques o aguas para su usufructo, independientemente de que haya o no resolución presidencial, del tipo de régimen de tenencia de la tierra, del tipo de actividad que en ella se realice y del municipio o municipios en que se encuentre.

El ejido de San Felipe - Santa Cruz de Abajo tiene una superficie parcelada, por lo que la explotación de las parcelas se hace en forma individual o de grupo, mientras que el resto de la superficie puede o no ser aprovechado.

Las autoridades internas del ejido son la Asamblea General, el Comisariado Ejidal y el Consejo de Vigilancia. La máxima autoridad interna es la Asamblea General, que está integrada por todos los ejidatarios.

Los ejidatarios se dirigen directamente al Gerente del Lago de Texcoco para solicitar el agua tratada, de forma que la responsabilidad de la Gerencia es asegurar el suministro de agua en la cantidad necesaria, y los ejidatarios se encargan de las actividades de riego y drenaje.

Los ejidatarios generalmente desarrollan de manera comunitaria los trabajos para mantener, rehabilitar y ampliar la infraestructura de riego parcelario. Así, es también común que preparen la tierra en conjunto y efectúen las otras actividades incluidas en el proceso de producción.

## **10.5 Relaciones interinstitucionales**

Debido a los servicios que brinda la Gerencia Lago de Texcoco a la Ciudad de México en cuanto a la regulación de las aguas residuales y la disposición de residuos sólidos municipales en el Relleno Sanitario Bordo Poniente, esta Entidad mantiene estrecha relación con la Dirección de Obras y Servicios del Gobierno del Distrito Federal, específicamente con la Dirección General de Servicios Urbanos, y con la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica. Como resultado de esta relación y mediante un convenio interinstitucional, la Gerencia Lago de Texcoco recibe apoyo del Gobierno del Distrito Federal para la ejecución de obras de diverso tipo (desde estudios hasta la construcción de infraestructura).

A partir de 1998, se incrementó la relación con el Gobierno del Estado de México, en el marco del Fideicomiso Ambiental del Valle de México para mejorar la calidad del aire en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Se ejecutó un programa de obras con la finalidad de reducir la generación de partículas suspendidas en el Lago de Texcoco, con lo cual se ayudó a mantener la calidad del aire. Los trabajos ejecutados incluyen actividades de conservación en la parte alta de la cuenca, mejoramiento de la infraestructura para sembrado de pasto y forestación en el Lago de Texcoco, y apoyo para concluir la construcción de dos módulos de la planta de aireación a contracorriente, para producir 500 Lps de agua tratada que se utilizarán en los programas de reforestación y para la zona ecológica del municipio de Nezahualcóyotl. Desde 1998 la ejecución de estas obras ha demandado una inversión estimada en US\$10 millones por parte del Gobierno del Estado de México.

La única relación interinstitucional formal de los ejidatarios es con la Gerencia Lago de Texcoco. Es posible que también recurran a la Secretaría de Desarrollo Agropecuario del Gobierno del Estado de México, ya que su ejido está incluido en la Región 3 de la División administrativa de la referida Secretaría.

## **11. Propuesta de implementación de un sistema integrado de tratamiento y uso de aguas residuales**

### **11.1 Evaluación del sistema existente: estado de la infraestructura y los procesos**

La infraestructura del sistema de Lagunas Facultativas con Recirculación presenta en general condiciones adecuadas para la operación. El deterioro o fallas de la infraestructura se deben principalmente a las características de mecánica de suelos de la Zona Federal del Lago de Texcoco ya que después de 13 años de operación, el problema principal está asociado a los asentamientos diferenciales de algunas de las estructuras.

Por tal motivo, el proceso de tratamiento se ha modificado ya que, como resultado de los asentamientos diferenciales, se reduce el control de los gastos de operación de cada una de las lagunas. Por lo tanto, uno de los módulos recibe mayor cantidad de agua que la establecida en el diseño.

Desde el punto de vista operativo, el problema más importante se refiere a la deformación en el canal de efluente. A consecuencia de esto, se presenta mezcla del efluente final del tratamiento con agua residual en proceso proveniente de las lagunas primarias. Por otra parte, se permite el flujo de agua entre las dos lagunas primarias interiores, de forma que se presenta una limitación importante para operar los dos módulos de manera independiente. Esta deformación es reciente; tuvo lugar el pasado 1 de noviembre de 2000, aparentemente se originó a consecuencia de la actividad del volcán Popocatepetl.

Para el año 2001, la Gerencia del Lago de Texcoco ha considerado la necesidad de ejecutar un estudio que incluye lo referente a la topografía, mecánica de suelos, funcionamiento hidráulico y mecánica de las estructuras, a fin de proponer los procesos constructivos más apropiados para proceder a rehabilitar el canal y dar funcionalidad a la planta por un periodo de 15 años más. El presupuesto estimado para la ejecución del estudio y los trabajos de rehabilitación asciende a US\$200.000.

## **11.2 Determinación de fortalezas y limitaciones del sistema actual**

Los principales aspectos que permiten considerar la viabilidad del desarrollo de un proyecto de reúso agrícola en la Zona Federal del Lago de Texcoco están relacionados con:

- La urgente necesidad de encontrar solución al problema de la escasez de agua en la Cuenca del Valle de México, y a incrementar su demanda para diversos usos.
- En vista de los trabajos de recuperación ambiental ejecutados en el Lago de Texcoco, se cuenta con la infraestructura y con los elementos técnicos y humanos requeridos por un proyecto de esta naturaleza.
- Los productores de los ejidos adyacentes a la Zona Federal del Lago de Texcoco mantienen una dependencia extrema de la explotación del acuífero y el uso de aguas residuales crudas para sus actividades productivas, problemática que tiene prioridad para el Gobierno Federal.
- La producción de peces tiene expectativas de crecimiento dado que es posible utilizar el Lago Nabor Carrillo para la producción intensiva de nivel comercial, por el mercado potencial que representa la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.
- Por su ubicación e importancia para el control hidrológico del oriente de la Ciudad de México, la Zona Federal del Lago de Texcoco continuará recibiendo las descargas de aguas residuales de la ciudad. Por ello, se requiere desarrollar un programa de tratamiento y reúso que permita reducir el volumen de exportación del recurso a otras zonas.

Las limitaciones para la ejecución del proyecto son las siguientes:

- Disponer de los recursos para la construcción de los nuevos sistemas de tratamiento requeridos para el desarrollo del proyecto. Para ello, se debe gestionar con la Comisión Nacional del Agua o el Gobierno del Estado de México. Es poco probable que los ejidatarios acepten formalizar un compromiso de carácter financiero para la construcción de las plantas de tratamiento. Actualmente los ejidatarios que reciben el agua de la Gerencia Lago de Texcoco no pagan por ella.
- La posible construcción del nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México en parte de la Zona Federal del Lago de Texcoco y del Municipio de Atenco. Esto puede ocasionar modificaciones en el suelo de la zona de ejidos, al pasar de agrícola a servicios. Es importante destacar que, con la información de que se dispone de manera extraoficial, la construcción del aeropuerto se incluye en un proyecto de mayor alcance, en el que destaca el objetivo de mantener y ampliar la recuperación ambiental alcanzada en el Lago de Texcoco. Sin embargo, el cambio de uso de suelo en las áreas ejidales estaría sujeto a factores de presión de los pobladores de la zona.

### **11.3 Estructura del sistema integrado propuesto: plan de cultivos y exigencias de tratamiento**

Sobre la base de la infraestructura y capacidad técnica que se dispone en la Gerencia del Lago de Texcoco, los proyectos propuestos se encuentran en el ámbito de la producción acuícola y agrícola.

#### ***11.3.1 Acuicultura***

En este caso se propone evaluar la producción intensiva de peces. Para ello, se considera como principal objetivo obtener niveles de rendimiento que aseguren la rentabilidad del cultivo, y se genere información básica que no se dispone para esta zona.

La producción intensiva y controlada de peces se desarrollará en primer lugar en la unidad de estanquería existente y posteriormente (segundo o tercer año), se habilitarán corrales en el Lago Nabor Carrillo. Para ello se aplicará la experiencia de los trabajos desarrollados en las lagunas de San Juan de Miraflores, Lima, Perú.

Los objetivos particulares del cultivo en estanquería son los siguientes:

- Establecer un índice de referencia de la tasa de rendimiento de pescado/m<sup>2</sup> de estanque, para las condiciones de altura sobre el nivel del mar, clima y calidad de agua tratada en el Lago de Texcoco (altiplano de México).
- Evaluar los aspectos de mercado y aceptación regional para los productos provenientes de aguas tratadas.



- Profundizar en cuanto a la variación de calidad sanitaria del producto, sobre la base de la necesidad de establecer directrices para el reúso seguro, las que no deben ser tan estrictas que limiten su aplicación generalizada.

### **Características de la estanquería**

La unidad consta de 11 estanques de producción de 800 m<sup>2</sup> cada uno. Hay un espejo de agua total de 8.800 m<sup>2</sup>. Cinco estanques tienen el piso de suelo natural y taludes de concreto (semi-rústicos) y seis estanques se han impermeabilizado totalmente con una geomembrana sintética. La unidad cuenta además con un área de laboratorio y bodega.

### Especies propuestas para el cultivo

En este caso y en vista de las experiencias de piscicultura en el lago de Texcoco y dada la facilidad existente para conseguir cría se recomienda el cultivo de:

- Tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*)
- Carpa de Israel (*Cyprinus carpio specularias*)

Estas especies han demostrado tolerancia a las variaciones de calidad del agua y a las bajas temperaturas invernales.

### Manejo del cultivo

Dado que la unidad de producción se utilizó exclusivamente para la engorda y puesto que en México se obtiene la cría de peces de 5 cm de talla, el proyecto propuesto incluye dos etapas con un período de duración total de 12 meses para alcanzar la talla comercial, ya que debido a la temperatura en la zona no es factible reducir este período.

En México, las especies mencionadas se pueden comercializar con un peso mínimo de 250 gramos y por lo general no hay incremento del precio de venta en relación con pesos y tallas mayores. Por ello, en principio estas serían las características mínimas del producto para asegurar su mercado.

La tasa de siembra se establecerá considerando una mortalidad máxima de 30%, una tasa de producción de 0,5 kg de pescado/m<sup>2</sup> de estanque y una producción total de 4.400 kg/año.

Con la finalidad de reducir el caudal de agua para el cultivo y economizar el control analítico, y dada la necesidad de trabajar en dos etapas, el procedimiento de siembra se desarrollará de la siguiente manera:

#### *a) Preengorda*

Organismos de 5 cm se mantendrán en el cultivo hasta alcanzar 12 cm. Se emplearán seis estanques para una siembra inicial de 22.880 peces distribuidos como sigue:

- Número total de crías al inicio: aproximadamente 22.880
- Tasa de siembra considerando sólo seis estanques en la preengorda: 4,76 peces/m<sup>2</sup> de estanques
- Número total de peces en cada estanque: 3.813

b) *Engorda*

Los organismos de 12 cm de longitud, llevarán hasta un promedio de 20 cm y con peso de 250 g. Al redistribuir la población en los 11 estanques se tendría lo siguiente:

- Número total de crías de 12 cm para resembrar: 19.448
- Tasa de resiembra considerando los 11 estanques: 2,21 peces/m<sup>2</sup>
- Número total de peces en cada estanque al inicio: 1.780

De acuerdo con la experiencia sobre el cultivo de peces en agua residual, todo el requerimiento de alimento para la engorda se obtendrá a partir de la productividad primaria de los estanques ya que las aguas residuales tratadas en lagunas de estabilización se caracterizan por presentar niveles suficientes de alimento vivo.

Sólo en caso extremo se empleará alimento suplementario peletizado, aunque en la medida de lo posible se buscará sostener la engorda con el alimento natural.

Manejo hidráulico

Se ajustará en función de los valores observados para los parámetros de calidad del agua, sobre todo lo referente al OD, pH y nitrógeno amoniacal.

Es importante destacar que el volumen efectivo por estanque es 1.200 m<sup>3</sup> y que normalmente el caudal de operación se ajusta para mantener el nivel, y para compensar las pérdidas por evaporación e infiltración. En este caso, se considerará una tasa de recambio que permita el máximo rendimiento.

En vista de la experiencia de las lagunas de San Juan de Miraflores, en lo referente al recambio de agua en la estanquería, se requiere un caudal de 2,4 a 6,7 Lps para tener una tasa de aporte de agua desde 1,6 hasta 4,4% del volumen total de cada estanque. Pero en el caso de la propuesta, se considera el recambio mensual de toda el agua de cada estanque, lo cual representa un caudal de 10 Lps. Este caudal permitirá tener flexibilidad para incrementar la estanquería piscícola sin necesidad de construir nuevas lagunas.

Producción en el Lago Nabor Carrillo

Aunque no está previsto el inicio de los trabajos en el corto plazo, se presenta la propuesta que podría desarrollarse a futuro.

El proyecto de cultivo de peces en el Lago Nabor Carrillo se justifica puesto que el uso que se le da al embalse no se ve afectado por el hecho de manejar una producción intensiva. Por

el contrario, permitiría la generación de recursos económicos que se pueden reinvertir en obras de mejora en la zona.

Si bien es cierto que el lago es un caso particular, es importante tener en consideración que en muchos casos el tratamiento se asocia con la necesidad de almacenar las aguas tratadas o en su defecto descargarlas a cauces naturales (por ejemplo, ríos) lo cual permite mantener el proceso continuo de tratamiento y descarga.

Bajo estas consideraciones, es necesario evaluar la posibilidad del cultivo de peces, sin tener que invertir en la construcción de estanques e instalaciones específicas para el cultivo, y mediante el manejo de cercos o jaulas flotantes confinar a los peces en un espacio reducido que permita el control detallado de la producción.

Las experiencias del crecimiento de peces en jaulas (en lagos o ríos de aguas naturales y en cauces de agua residual), han demostrado que la tasa de producción puede ser mucho mayor que la obtenida en estanquería convencional. Sólo los estanques de tipo de *raceway*<sup>11</sup>, los cuales demandan volúmenes muy elevados de agua, pueden superar la producción alcanzada en jaulas flotantes.

Por lo expuesto, el desarrollo de un cultivo en el lago Nabor Carrillo permitirá obtener información sobre el potencial de generación de alimento que se puede alcanzar, cuando se cultivan peces en los embalses reguladores, de almacenamiento y cauces de conducción de las aguas residuales tratadas. Adicionalmente, un estudio de factibilidad económica puede brindar la posibilidad de contar con información para incentivar a los gobiernos e iniciativa privada en este tipo de reúso.

- Aprovechar las características batimétricas del embalse y ubicar en la zona oriente del lago una batería de corrales de cultivo, que aseguren una producción comparable con el cultivo en estanquería.
- No se recomienda la explotación extensiva en todo el embalse, ya que en algunas zonas el remanente de contaminación microbiológica es mayor a 10E+04 coliformes fecales NMP/100 ml. Además, por las dimensiones y batimetría el monitoreo y cosecha se dificultaría enormemente y no se controlaría la población de peces.

#### Otros organismos

Aunque en esta etapa del proyecto solamente se abordaría el aspecto de la piscicultura, es importante destacar que el Lago de Texcoco fue en el pasado reciente un lugar de una riqueza acuática extraordinaria y que por ello representaba una fuente de recursos para los habitantes de la zona.

En este sentido, es necesario evaluar la posibilidad de que en el corto plazo los proyectos de reúso incluyan otros organismos acuáticos que por su valor comercial serían muy rentables.

---

<sup>11</sup> Estanques de estructura alargada.

Las especies importantes y con expectativas para cultivo son el camarón de salmuera (*Artemia salina*) y la pulga de agua (*Daphnia sp*), cuyo nivel de comercialización regional es alto. Por ejemplo, la artemia salina se comercializa viva en el mercado de acuarios hasta en US\$150/kg.

- En ambos casos, el cultivo se puede desarrollar de manera extensiva. Para ello, se emplean las áreas de distribución natural y en las cuales hay condiciones que, con ligeras adaptaciones, pueden incrementar sustancialmente la cantidad de producto y asegurar la cosecha continua a lo largo de todo el año.
- El manejo de agua residual para la producción de los crustáceos se puede plantear en términos de efluentes tratados o crudos y depende del lugar, la especie y las condiciones climáticas.

#### 11.3.1.1 *Exigencias de tratamiento para el cultivo de peces*

La Norma Oficial Mexicana (NOM-001-ECOL-1996) indica que las descargas de aguas residuales a embalses naturales y artificiales, y a ríos será de 1.000 coliformes fecales NMP por cada 100 m. Se entiende que esta descarga es necesaria para la protección de la vida acuática.

Sin embargo, la propuesta sobre la producción de peces tiene la finalidad de encontrar el marco de referencia que permita comparar los niveles de rendimiento y calidad sanitaria del cultivo de peces en el Lago de Texcoco, frente a los resultados obtenidos por el CEPIS-OPS para este tipo de reúso. En vista de ello, se estima necesario que la calidad del efluente de las lagunas propuestas con este fin en el Lago de Texcoco se encuentre por debajo de 1,0 E+04.

#### 11.3.1.2 *Parámetros de diseño de la planta de tratamiento para cultivo de peces*

La planta se ubicará en el área comprendida entre los estanques de producción (en operación) y la berma oriente del Dren General de Aguas del Valle México: aproximadamente a 200 m del km 4 de la autopista Peñón-Texcoco.

El terreno propuesto para la construcción es sensiblemente plano y sólo cuenta con infraestructura que consiste en dos caminos interiores de operación usados exclusivamente por el personal de la Comisión Nacional del Agua.

Para el diseño de esta planta de tratamiento, se consideran los parámetros generales que se indican en la tabla siguiente.

**Tabla 20. Parámetros generales para el diseño del sistema de tratamiento para cultivo de peces**

Parámetros	Cantidad
Caudal de crudo (L/s)	10
DBO <sub>5</sub> en el crudo (mg/L)	220
Coliformes fecales en el crudo (NMP/100 ml)	2,4 E+07
Temperatura mensual mínima del agua (°C)	14,5

**Tabla 20. Parámetros generales para el diseño del sistema de tratamiento para cultivo de peces (cont.)**

Parámetros	Cantidad
Evapo-filtración (cm/día)	1
Área total disponible para el sistema (ha)	3
Costo del terreno (US\$/ha)	NA
Área complementaria del proyecto (%)	2

NA = no aplicable.

### 11.3.1.3 Características de la planta de tratamiento para el cultivo de peces

El objetivo de la planta es producir agua residual tratada para el cultivo de peces. Debido a ello y en atención a las normas respecto al límite permitido de colimetría fecal para la descarga de aguas residuales, la planta se debe construir como una unidad; los caudales efectivos de efluente de cada una de las lagunas solamente se toman en cuenta para fines de diseño, pero sólo el efluente terciario se reusará.

**Tabla 21. Características de las lagunas de estabilización para cultivo de peces**

Etapas	Primaria	Secundaria	Terciaria
Número de lagunas (u)	2	2	3
Profundidad media (m)	2,5	2,5	2,5
Relación L/A de las lagunas	2	2	2
Carga orgánica (kg DBO/ha/día)	4.205,54	-	-
Área de tratamiento (ha)	0,05	0,81	0,30
Ancho (m)	11,0	45,0	23,0
Longitud (m)	22,0	90,0	45,0
Efluente (L/s)	9,94	9	8,88
Periodo de retención real (días)	0,8	12,5	5,4
Tasa de mortalidad de bacterias (L/día)	0,3441	0,5353	0,7254
Factor de dispersión	0,0195	0,1373	0,0672
Factor adimensional	1,0103	2,166	1,4361
Colimetría fecal del efluente (NMP/100 ml)	1,84 E+07	2,32 E+05	8,76 E+03

Todas las lagunas se construirán formando diques con material de mina y compactándolos por medios mecánicos hasta 95% de la prueba PROCTO<sup>12</sup>; los diques tendrán una altura de 3 m y 15 m de base.

<sup>12</sup> Prueba del subsuelo.

Debido a que el agua de afluente se debe bombear desde el Dren General de Aguas del Valle hasta la planta, es necesario contar con la estructura de llamada y con el cárcamo de bombeo correspondiente.

### ***11.3.2 Reúso agrícola***

Se considera al Valle del Mezquital ubicado en la Cuenca del Tula como el lugar más apropiado en términos de antigüedad y extensión para desarrollar un programa integral de estudios que permita establecer esquemas de riego seguro. En vista de ello, el planteamiento para la ejecución de un programa en el área de influencia del Lago de Texcoco, permitirá evaluar los aspectos sociales y económicos del reúso del agua tratada, para demostrar que el problema no es el agua residual sino por lo general lo son las prácticas inadecuadas de riego y manejo de los productos.

Esto permitirá contar con información que facilite la difusión de las practicas de reúso, al demostrar que en los sistemas agrícolas en los cuales se usan técnicas seguras, no existe el riesgo de contaminación ambiental y/o deterioro del nivel de salud de los productores.

En vista de lo anterior, las actividades que se pueden desarrollar son las siguientes:

- Establecer programas de aplicación intensiva con métodos de riego seguro y manejo del producto post-cosecha, para evitar el riesgo de contaminación y problemas de salud pública, y dar seguimiento metódico y científico a los resultados.
- Promover con los ejidatarios de la zona oriente el reúso intensivo de agua residual. Además enfocar dichas actividades a obtener información del marco social, económico y de organización entre la autoridad y el usuario, con lo cual se obtendrán directrices para establecer programas integrales con la participación de los diferentes sectores.
- Este aspecto también permitirá desarrollar políticas o directrices para administrar mejor los recursos hidrológicos.

#### *11.3.2.1 Exigencias de tratamiento para el reúso agrícola*

En atención a la normatividad vigente, se requiere que el tratamiento asegure un efluente con un valor máximo de coliformes fecales de 1.000 NMP por cada 100 ml.

#### *11.3.2.2 Parámetros de diseño de la planta de tratamiento para el reúso agrícola*

La zona propuesta para ubicar la planta se localiza al oriente del Lago Nabor Carrillo, a una distancia máxima de 100 m de este embalse, sobre la berma sur del Canal Colector, en un área donde el asentamiento humano más cercano se encuentra a más de 1,5 km. Colinda con el ejido de San Felipe - Santa Cruz, y toma el agua residual de los ríos Chapingo o Texcoco.

Para el diseño de la planta de tratamiento, se consideraron los siguientes parámetros:

**Tabla 22. Parámetros generales para el diseño del sistema de tratamiento para reúso agrícola**

Parámetros	Cantidad
Caudal de crudo (L/s)	100,0
DBO <sub>5</sub> en el crudo (mg/L)	250
Coliformes fecales en el crudo (NMP/100 ml)	2,4 E+07
Temperatura mensual mínima del agua (°C)	14,5
Evapo-filtración (cm/día)	1
Área total disponible para el sistema (ha)	80
Costo del terreno (US\$/ha)	NA
Área complementaria del proyecto (%)	2

NA = no aplicable

### 11.3.2.3 Características de la planta de tratamiento para reúso agrícola

Como ya se mencionó, debido a la necesidad de cumplir con la normatividad vigente, no es posible utilizar el efluente de las lagunas primarias y secundarias. Solamente se utilizará el efluente terciario.

Por ello, la planta para reúso agrícola también se deberá construir formando un solo conjunto, de manera que se reduzcan las interconexiones dentro de lo posible.

**Tabla 23. Características de las lagunas de estabilización para reúso agrícola**

Etapas	Primaria	Secundaria	Terciaria
Número de lagunas (u)	4	3	3
Profundidad media (m)	2,5	2,5	2,5
Relación L/A de las lagunas	2	3	3
Carga orgánica (kg DBO/ha/día)	4.779,02	-	-
Área de tratamiento (ha)	0,45	7,29	7,29
Ancho (m)	24,0	90,0	90,0
Longitud (m)	48,0	270,0	270,0
Efluente (L/s)	99,47	91,03	88,22
Periodo de retención real (días)	0,7	11,1	13,2
Tasa de mortalidad de bacterias (L/día)	0,3441	0,5353	0,7254
Factor de dispersión	0,0262	0,0985	0,1070
Factor adimensional	1,034	1,8289	2,2541
Colimetría fecal del efluente (NMP/100 ml)	1,86 E+07	2,53 E+05	6,13 E+02

Se seguirán los mismos procesos constructivos estimados para la planta de reúso en cultivo de peces. Se requiere también construir un canal de llamada y una obra de toma para el bombeo de agua, desde el punto en que se colecta hasta el lugar en que se ubicarán las lagunas.

#### **11.4 Rehabilitación, mejoramiento y/o ampliación de la planta de tratamiento**

Como consecuencia de la problemática indicada en el punto 11.1, para el año 2001 se ha considerado la necesidad de invertir US\$200.000 para ejecutar la rehabilitación del canal central de efluente y para reducir el efecto de los asentamientos diferenciales en el módulo poniente de la planta de tratamiento.

Los trabajos incluyen la ejecución de un estudio para revisar los aspectos de mecánica de suelos, topografía, estructura e hidráulica.

El objetivo principal es rehabilitar la infraestructura con la finalidad de recuperar su funcionalidad y evaluar la posibilidad de incrementar su capacidad de tratamiento de 0,5 m<sup>3</sup>/s a 1,0 m<sup>3</sup>/s. Para esto, se considerará que el reúso principal del efluente es mantener lleno el Lago Nabor Carrillo y posteriormente utilizar el agua en otras actividades.

Las necesidades de recursos para rehabilitar la infraestructura de las Lagunas Facultativas, se han considerado como parte de los programas de la Comisión Nacional del Agua, a través de la Gerencia Lago de Texcoco. Asimismo el Gobierno del Estado de México tiene interés en continuar invirtiendo en obras para el saneamiento del agua. Inclusive se analiza la posibilidad de construir nuevos sistemas de tratamiento con la finalidad de estar en condiciones de responder a la demanda estimada de agua para los próximos años.

Se estudia la conveniencia de construir la infraestructura necesaria, que permita colectar las aguas residuales de los ríos de Oriente que llegan a la Zona Federal del Lago de Texcoco, y conducirlos a un sistema de tratamiento que se ubicaría al norte del Lago Nabor Carrillo. No se tiene aún detalle del programa de ejecución ya que el proyecto definitivo está condicionado a la decisión del sitio para la construcción del nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México.

#### **11.5 Rehabilitación, mejoramiento y/o ampliación de las unidades de producción agrícola, acuícola y forestal**

En principio, no hay necesidad de considerar la rehabilitación y/o ampliación de las unidades de producción agrícola y acuícola.

Como ya se señaló, en el caso de la zona seleccionada para el reúso agrícola, las modalidades de tenencia de tierra y organización son las mismas para todas las zonas ejidales del Municipio de Texcoco. Por lo tanto, físicamente ya existe la infraestructura de riego donde el uso del suelo es principalmente agrícola.

Por consiguiente, en caso de ejecutar el proyecto y en la medida en que se obtengan resultados positivos, serían los mismos agricultores quienes determinen la necesidad de



incorporar a otros ejidatarios para ampliar la cobertura de riego con agua residual tratada o para diversificar los cultivos y obtener más ingresos.

La extensión de las unidades de producción agrícola ya está determinada por la división de ejidos existente en la zona. Los elementos que se pueden cambiar son la superficie sujeta a riego con agua residual tratada, la rotación y el tipo de cultivos.

La actividad forestal y la explotación de los cultivos perennes no son significativas y su desarrollo se restringe a las zonas altas de la cuenca. Por lo tanto, no se consideran en la ejecución del proyecto.

No se considera ampliar la producción acuícola en unidad de estanquería piscícola debido a que por lo menos durante los dos primeros años, la producción de peces estará directamente a cargo de la Gerencia Lago de Texcoco. Por lo tanto, el proceso de comercialización del producto no se puede ejecutar de manera directa y dependería de establecer la relación con un grupo de usuarios bajo la modalidad de concesión de uso de la infraestructura, suelo y agua. Este convenio se podría formalizar durante el primer año y a partir del segundo ejecutar el estudio para la ampliación de la unidad.

Es importante destacar que se cuenta con antecedentes administrativos referentes a una modalidad de permiso denominado “precario”.

En la Zona del Lago Texcoco se recolectan diversas especies de organismos, por ejemplo mosco de agua, pulga de agua, artemia salina, pescadito amarillo e inclusive el tequesquite (sales que se depositan en la superficie del suelo). Para ello, los interesados solicitan un permiso a la Gerencia Lago de Texcoco, la cual extiende la autorización correspondiente e indica la especie autorizada para recolección, las áreas en que se puede desarrollar la actividad y, en caso se requiera, los períodos de veda.

Por otra parte, la necesidad de ampliar la unidad de producción acuícola está sujeta al esquema de comercialización del pescado producido ya que, como se ha mencionado, a la fecha la producción de peces en el Lago de Texcoco se viene desarrollando sin que exista comercialización directa del producto.

Es claro que la decisión de ampliar la infraestructura para incrementar la producción de peces, resultará de desarrollar el proyecto en los términos propuestos en el presente documento, ya que por la ubicación del Lago de Texcoco, el lugar potencial de consumo corresponde a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

Además, en el caso de que la producción de peces en el Lago Nabor Carrillo resultara económicamente viable, se estima que las necesidades de nueva infraestructura para producción acuícola estarían asociadas a la producción de cría para sostener un programa de engorde a nivel comercial.

## 11.6 Cronograma general de implementación de la propuesta

En el Cuadro 1 del anexo 2, se presenta el cronograma general para el desarrollo del proyecto. Se estima que todas las actividades previas al reúso se pueden ejecutar en doce meses.

## 11.7 Inversión y costos de operación: terreno, planta de tratamiento y cultivos

Debido al aspecto de tenencia de la tierra en el Lago de Texcoco, no hay costo derivado de la adquisición del terreno para implementación de las plantas ya que ambas se ubicarían en terrenos federales.

Sobre el costo de construcción de la planta y de acuerdo con las dimensiones requeridas, se elaboró el análisis de precios unitarios bajo los criterios de obra pública para los conceptos de obra que representan el mayor porcentaje del proyecto.

Para la planta de tratamiento que se utilizará en reúso acuícola, el costo de construcción se resume en la siguiente tabla.

**Tabla 24. Costo estimado para la construcción de la planta para cultivo de peces (US\$)**

Concepto	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Subtotal
Diques compactados con base en material de préstamo	m <sup>3</sup>	23.409	10,30	241.112
Acometida de energía eléctrica. Incluye transformador, postes y línea	lote	1	4.500	2.500
Obra de toma (bombeo de crudo)	pieza	1	3.200	3.200
Equipamiento electromecánico	lote	1	3.000	3.000
Canal de llamada	pieza	1	490	490
Línea de interconexión hidráulica	m	1.000	18	18.000
			<b>TOTAL</b>	<b>268.302</b>

Para estimar el costo de operación, se considera la necesidad de mantener a los operadores en un esquema de rol de turno de 24 horas de trabajo por 24 de descanso, para que se asegure el correcto funcionamiento de la instalación.

Dado el caudal de efluente de las lagunas terciarias, la producción anual de agua tratada será de 280.039 m<sup>3</sup>, con un costo de US\$0,078/m<sup>3</sup>.

**Tabla 25. Costo anual de operación esperado para la planta propuesta para reúso de agua en producción de peces (US\$)**

Rubro	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo mensual	Costo anual
Supervisor	mes	0,5	1.100	550	6.600
Operador	mes	2	463	926	11.112

**Tabla 25. Costo anual de operación esperado para la planta propuesta para reúso de agua en producción de peces (US\$) (cont.)**

Rubro	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo mensual	Costo anual
Análisis de agua	lote	1	200	200	2.400
Materiales	lote/mes	1	60	60	720
Pago de energía eléctrica	mes	1	100	100	1.200
				<b>TOTAL</b>	<b>22.032</b>

Para la planta de reúso agrícola, se considera necesario proteger los diques del efecto del oleaje con concreto por el lado húmedo de los taludes. También se deberá habilitar un camino perimetral de operación con dimensiones que permitan la circulación de una camioneta y la construcción de una caseta para uso de los operadores. El costo estimado se resume en la siguiente tabla.

**Tabla 26. Costo de construcción de la planta de tratamiento para reúso agrícola (US\$)**

Concepto	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Subtotal	
Diques compactados a base de material de préstamo	m <sup>3</sup>	93.637	10,3	964.461,10	
Concreto simple para recubrir talud de diques	m <sup>2</sup>	33.792	7,5	253.440,00	
Formación de camino perimetral de operación (con grava de origen volcánico)	m <sup>3</sup>	2.704	11,3	30.555,20	
Acometida de energía eléctrica. Incluye transformador, postes y línea	lote	1	9.000	9.000,00	
Obra de toma (bombeo de crudo)	pieza	1	9.600	9.600,00	
Equipamiento electromecánico	lote	1	8.500	8.500,00	
Canal de llamada	estructura	1	6.300	6.300,00	
Línea de interconexión hidráulica	m	1.980	28,00	55.440,00	
Caseta de operación	estructura	1	9.000	9.000,00	
				<b>TOTAL</b>	<b>1.346.256,30</b>

En este caso, se estima que la operación requiere también de personal con un esquema de turnos. Pero a diferencia de la planta para reúso en cultivo de peces, en esta planta se tendrán dos categorías de obreros: dos jefes de turno que trabajarán 24 horas por 24 de descanso, y ocho operadores (en cuatro grupos de dos personas) para rotar en turnos de 12 horas de trabajo por 32 de descanso. De esa manera, en la planta siempre se dispondrá de personal.

El costo de tratamiento se estima en US\$0,027/m<sup>3</sup> para una producción anual de 2.781.475 m<sup>3</sup> de agua tratada de efluente terciario.

**Tabla 27. Costo anual de operación esperado para la planta propuesta para riego agrícola (US\$)**

Rubro	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo mensual	Costo anual
Supervisor	mes	0,5	1.100	550	6.600
Jefe de turno	mes	2	522	1.044	12.528
Operador	mes	8	463	3.704	44.448
Análisis de agua	lote	1	120	120	1.440
Materiales	lote/mes	1	250	250	3.000
Pago de energía eléctrica	mes	1	800	800	9.600
				<b>TOTAL</b>	<b>77.616</b>

Para el análisis de los estimados de costo de operación, es preciso tomar en cuenta que, debido a las condiciones topográficas de la zona del Lago de Texcoco y por la operación hidráulica de los cauces de agua residual que descargan en él, la construcción de los sistemas de tratamiento requiere una estructura de bombeo. Esto se refleja en la necesidad de disponer permanentemente de personal para vigilar la operación de los equipos electromecánicos usados con este fin.

### 11.8 Ingresos esperados con la nueva estructura productiva

No se dispone de datos referentes a los rendimientos de producción e ingresos que obtienen los ejidatarios que riegan sus parcelas con el efluente de las Lagunas Facultativas con Recirculación. Por ello, en este apartado solamente se presenta una comparación hipotética de los beneficios que se podrían obtener en caso de cambiar las pautas de cultivo en la zona ejidal.

Los datos utilizados corresponden a la información técnica de la Delegación de la Secretaría de Desarrollo Agropecuario, del Gobierno del Estado de México, Municipio de Texcoco para el ciclo agrícola 2001.

**Tabla 28. Relación de cultivos temporales (actual y propuesto)**

Parámetro	Maíz	Alfalfa	Col	Calabacita
Colimetría fecal (NMP/100 ml)	1.000	1.000	1.000	1.000
Rendimiento (tn/ha)	3,2	75,0	15,0	10,0
Campaña (meses)	7	12	3	de 3 a 4

Nota: La colimetría propuesta concuerda con la normatividad vigente respecto a la descarga de agua residual para riego agrícola.

En la siguiente tabla se presenta la información relativa a los costos de producción y la utilidad neta. Como se observa, la utilidad neta es mayor para los cultivos considerados en la propuesta, en comparación con lo que se obtiene al cultivar maíz.

**Tabla 29. Costos de producción de cultivos temporales por campaña (US\$)**

Actividad/costo/utilidad	Maíz	Alfalfa	Col	Calabacita
Preparación del terreno	159,00	243,50	166,00	148,00
Siembra o plantación	25,00	386,90	250,50	122,90
Fertilización	133,00	152,50	157,50	68,00
Labores culturales	60,50	50,00	224,10	30,00
Riego y drenaje	0,0	290,00	170,00	120,00
Control de plagas y enfermedades	187,00	43,50	338,00	61,60
Cosecha	40,00	535,00	180,00	30,00
Costo directo	604,50	1.701,40	1.486,10	580,50
Costo indirecto	12,10	34,00	29,70	88,40
Costo de producción (ha)	616,60	1.735,40	1.515,80	668,90
Utilidad Neta (ha)	103,40	5.764,60	8.884,20	2.331,20

Cabe señalar que en la Tabla 27 se incluye la actividad de fertilización tal y como la considera la Secretaría de Desarrollo Agropecuario del Estado de México. En la medida en que se emplee agua residual tratada, la utilidad neta se puede incrementar al prescindir del uso de los fertilizantes ya que el efluente de las lagunas de estabilización presenta suficiente cantidad de nutrientes.

### 11.9 Nuevos impactos ambientales

Por la naturaleza del proyecto del tratamiento y reúso, es posible afirmar que los nuevos impactos ambientales generados serán positivos al promover el tratamiento de aguas crudas, incrementar la disponibilidad de agua de buena calidad para las actividades agrícolas de la zona, evitar la exportación de agua residual a otras zonas de la cuenca y promover una nueva cultura de reúso.

Tal vez el único impacto negativo de significación estaría relacionado con el aspecto sanitario del cultivo de peces, debido principalmente a la importancia que tiene la zona Federal del Lago de Texcoco como refugio de aves y fauna en general, ya que al incrementar los niveles de producción de peces se corre el riesgo de que las aves silvestres nativas o migratorias se conviertan en un vector para diseminar enfermedades en poblaciones silvestres de peces o viceversa.

Sobre el particular, se debe tomar en cuenta que las aves migratorias que llegan a la Zona Federal del Lago de Texcoco provienen del norte del continente y el Lago Nabor Carrillo es un área de distribución importante.

### 11.10 Propuesta para la gestión del sistema integrado

Al considerar la demanda de agua para fines agrícolas en los ejidos adyacentes a la Zona Federal del Lago de Texcoco, y en vista del hecho de que el lugar disponible para la construcción de las lagunas de tratamiento corresponde a terrenos federales, es necesario gestionar el establecimiento del sistema integrado de tratamiento y reúso con el Director General de la Comisión Nacional del Agua, y solicitar la anuencia para tratar el asunto directamente con la Gerencia Regional de Aguas del Valle de México y/o con la Gerencia del Lago de Texcoco.

Al gestionar el proyecto en la Gerencia, ésta analizará la información y la pondrá en conocimiento de otras Dependencias involucradas en los trabajos de recuperación que se ejecutan en el Lago de Texcoco. Además evaluará la posibilidad de ajustar los programas correspondientes para llevar a cabo el programa.

## **12. Conclusiones y recomendaciones**

### **12.1 Conclusiones**

- Es necesario desarrollar un programa integral de tratamiento y reúso, en el que participen activamente los usuarios y las autoridades con la finalidad de evitar que el déficit hidráulico del área se siga incrementando.
- Se requiere encontrar los procedimientos que permitan interesar a los usuarios agrícolas para que inviertan en la construcción de sistemas de tratamiento. Al ser estos sistemas administrados por ellos mismos, será posible generar empresas agrícolas rentables, sobre la base de la disponibilidad de agua de buena calidad para las actividades productivas.
- En el área de influencia del Lago de Texcoco, la disponibilidad de agua es cada vez menor y los conflictos entre usuarios son cada vez más frecuentes. Un proyecto de esta naturaleza es una buena alternativa para administrar más eficientemente el recurso.
- Debido a la necesidad de cumplir con las normas vigentes en México referentes a la exigencia de alcanzar 1,0 E+03 coliformes fecales NMP/100 ml como límite máximo en los efluentes, los montos de inversión son un factor que limitan la construcción de sistemas de tratamiento.
- En general, se concluye que la ejecución de un proyecto de tratamiento y reúso en la Zona Federal del Lago de Texcoco es viable ya que el área reúne las condiciones necesarias de infraestructura, desarrollo agrícola y social.

### **12.2 Recomendaciones**

- Invitar oficialmente a la Comisión Nacional del Agua de México, para que la Gerencia del Lago de Texcoco participe activamente en el Proyecto Regional Sistemas de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en América Latina: Realidad y Potencial.
- Establecer las líneas de comunicación necesarias para que la Gerencia Lago de Texcoco inicie en breve la recopilación de toda la información requerida en el ámbito del Proyecto Regional.
- Reorientar las actividades de reúso de agua en el Lago de Texcoco, de acuerdo con el Proyecto Regional, que permitan disponer en breve de un esquema de tratamiento y reúso para la producción agrícola intensiva, e iniciar las actividades acuícolas.

## **Anexo 1**

**Tabla 1. Plantas de tratamiento de agua residual municipal por entidad federativa en México**

Entidad federativa	Plantas existentes		Caudal (l/seg)	
	En operación	Total	Gasto tratado	Capacidad instalada
Aguascalientes	81	97	2029.3	2564.9
Baja California	10	10	3892.0	4086.0
Baja California Sur	13	14	632.3	995.0
Campeche	12	12	37.2	125.4
Coahuila	6	9	688.0	113.5
Colima	24	33	414.0	532.5
Chiapas	6	13	86.0	457.2
Chihuahua	33	34	745.3	1539.5
Distrito Federal	15	15	2484.5	4669.5
Durango	58	60	2024.6	3223.0
Guanajuato	14	18	892.0	1976.5
Guerrero	14	14	1535.0	2159.0
Hidalgo	5	5	14.9	28.6
Jalisco	54	73	1747.6	3384.9
México	24	24	3172.2	4428.0
Michoacán	10	14	658.0	1360.0
Morelos	16	27	725.2	1467.9
Nayarit	35	47	998.3	1809.0
Nuevo León	26	29	6351	8856.0
Oaxaca	20	22	299.6	508.0
Puebla	15	18	358.4	509.9
Querétaro	22	29	237.0	763.0
Quintana Roo	15	20	1219.0	1545.0
San Luis Potosí	4	11	265.0	413.0
Sinaloa	11	15	1180.0	2131.0
Sonora	57	69	2506.3	4015.9
Tabasco	21	24	933.4	1251.3
Tamaulipas	15	19	1916.5	2321.0
Tlaxcala	22	35	494.4	916.2
Veracruz	48	66	1821.2	3390.0
Yucatán	8	9	320.0	344.5
Zacatecas	13	29	176.6	265.8
<b>TOTAL NACIONAL</b>	<b>727</b>	<b>917</b>	<b>40,854.80</b>	<b>63151.0</b>

Fuente: SEMARNAP, Comisión Nacional del Agua, 1999, en Estadísticas del Medio Ambiente (INEGI).

**Tabla 2. Tipos de proceso de tratamiento, que se utilizan con mayor frecuencia en México**

Proceso	Plantas existentes		Caudal (m <sup>3</sup> /seg)	
	En operación	Total	Gasto tratado	Capacidad instalada
Filtro biológico	22	26	2.3	3.7
Lodos activados	136	181	15.8	25.4
Lagunas de estabilización	419	497	12.2	17.2
Reactor anaerobio de flujo ascendente	19	31	0.137	1.3
Tanque Imhoff	27	53	0.345	0.932
Zanja de oxidación	18	21	0.8	1.088
<b>TOTALES</b>	<b>641</b>	<b>809</b>	<b>31.5</b>	<b>49.62</b>

Fuente: SEMARNAP, Comisión Nacional del Agua, 1999, en Estadísticas del Medio Ambiente (INEGI).



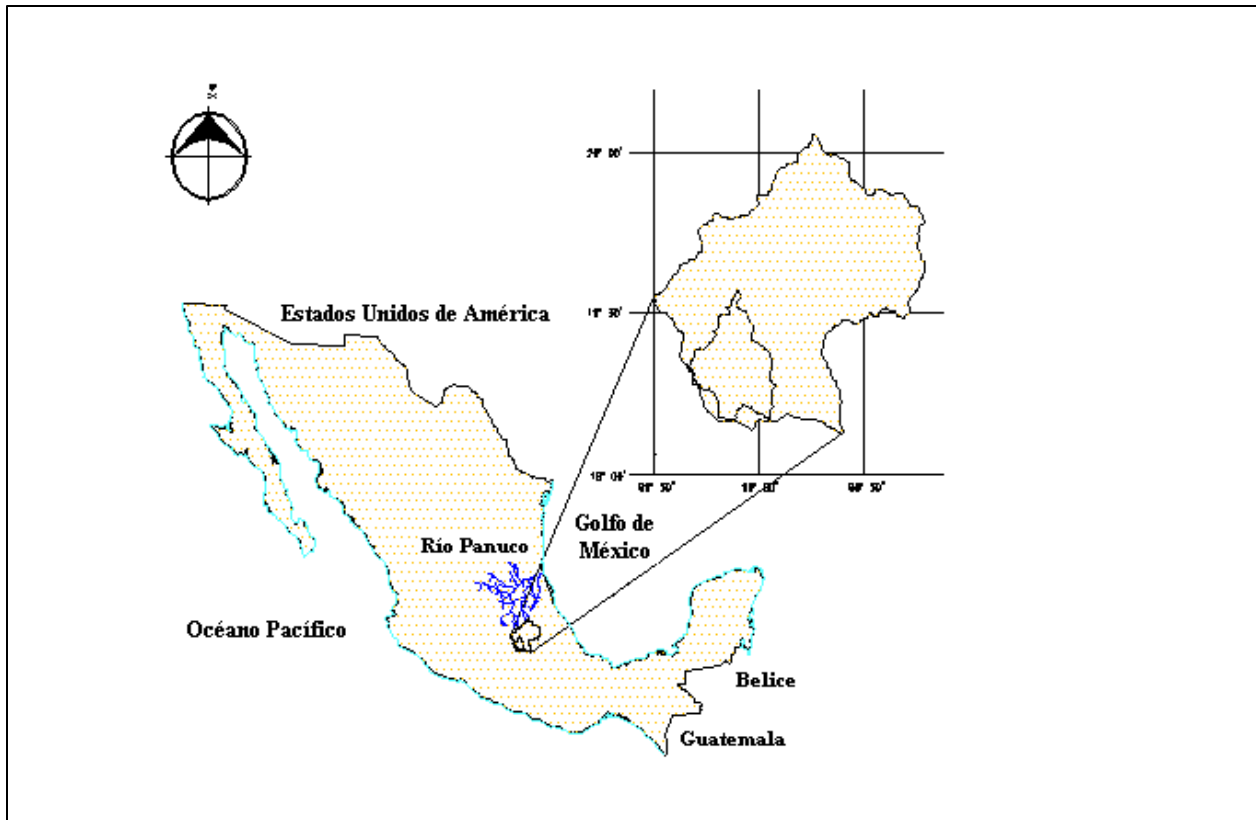
**Tabla 3. Inventario de sistemas de tratamiento para aguas residuales en la Cuenca del Valle de México**

Municipio por Entidad Federativa	Población (habitantes)	Número de plantas	Ubicación	Tipo de proceso	Capacidad (en Ips)	
					Proyecto	Operación
Atizapan de Zaragoza	429.999	6	Club de golf Chiluca I	Biofiltro	10.00	10.00
			Revillagigedo Chiluca II	Biofiltro	16.00	16.00
			La Estadia Chiluca III	Biofiltro	4.00	4.00
			Bellavista	Biofiltro	20.00	20.00
			Club de golf Valle Escondido	Biologico	18.00	18.00
			Club de golf la Hacienda	Biologico	25.00	25.00
Chalco	176.972	1	Des.Comunitar Juan Diego	Lodos Activados	2.00	2.00
Chimalhuacan	416.858	3	Lago de Texcoco	Laguna	500.00	500.00
			Lago de Texcoco	Lodos Activados	1000.00	1000.00
			Lago de Texcoco modelo piloto	Terciario	50.00	50.00
Cuahutitlan Izcalli	420.841	2	Lechería	Lodos Activados	400.00	400.00
			Bosques del Alba II	Lodos Activados	30.00	20.00
			Ford	Lodos Activados	30.00	30.00
Ecatepec	1,464,441	2	Termoeléctrica Valle de México	Lodos Activados	450.00	450.00
			Papelería San Cristobal	Lodos Activados	400.00	400.00
Huixquilucan	169.39	1	Villa Alpina	Anaerobio	5.00	3.00
Ixtapaluca	189.22	1	Tlaltizáhuac	Lodos Activados	18.50	18.50
Naucalpan	840.148	15	Naucalli	Lodos Activados	40.00	30.00
			Parque Los Remedios	Tanque Sèptico	2.00	2.00
			Conjunto Habitacional Lomas			
			Canteras	Tanque Sèptico	3.00	3.00
			Multiplaza Los Arcos	Lodos Activados	3.00	1.50
			Conjunto Habitacional La Joya	Tanque Sèptico	2.00	2.00
			K. Mart	Lodos Activados	0.50	0.50
			Conjunto Habitacional La			
			Cùspide	Lodos Activados	4.00	6.00
			Conjunto Habitacional La Rosa	Tanque Sèptico	2.00	1.50
			Conjunto Habitacional El Retiro	Tanque Sèptico	0.50	0.50
			C. Bodega Aurrera	Tanque Sèptico	0.50	0.50
			Conjunto Habitacional Sedena			
			Santiago OC.	Tanque Sèptico	2.00	2.00
			Pista de Patinaje y Burger King	Tanque Sèptico	0.50	0.50
Conjunto Habitacional Sedena						
Area Pintores	Lodos Activados	5.00	5.00			
Nezahualcòyotl	1,231,259	1	Nezahualcòyotl	Lagunas	200.00	180.00
Tlalnepantla	713.033	1	San Juan Ixhuatepec	Lodos Activados	150.00	70.00
Tultitlá+A56n	364.32	2	Villas de San Josè	Filtros Roceadores	50.00	50.00
			San Pablo de las Salinas	Lodos Activados	200.00	60.00
Tepotzotlán	54.703	1	Xochitla	Quimico	20.00	20.00
<b>Estado de Mèxico</b>	<b>6,471,184</b>	<b>37</b>			<b>3,668.50</b>	<b>3,016.00</b>
Atitalaquia	19.189	2	CFE Francisco Pèrez R.	Lodos Activados	7.00	5.50
			Sigma Alimentos	Lodos Activados	0.00	1.05
Pachuca	218.68	2	Pèmex (Agencia de Ventas)	Lodos Activados	0.30	0.10
			Rastro Municipal	Mètodo de la Zona de Raiz	5.00	5.00
Tepeapulco	46.2	2	Dina Camiones	Oxidaciòn Biològica	10.00	10.00
			Dina Camiones	Coagulaciòn Quimica	3.50	3.10
Tepeji del Rìo	49.203	3	Textiles Nil-Zon	Lodos Activados	0.00	3.00
			Maquintex	Lodos Activados	0.00	7.93
			Pilgrim's Pride	Lodos Activados	0.00	7.93
Tula de Allende	61.154	2	Pèmex (REF. Miguel Hidalgo)	Separador de Grasa y Laguna de Oxidaciòn	7.00	3.00
			Refineria Miguel Hidalgo		3.00	3.00

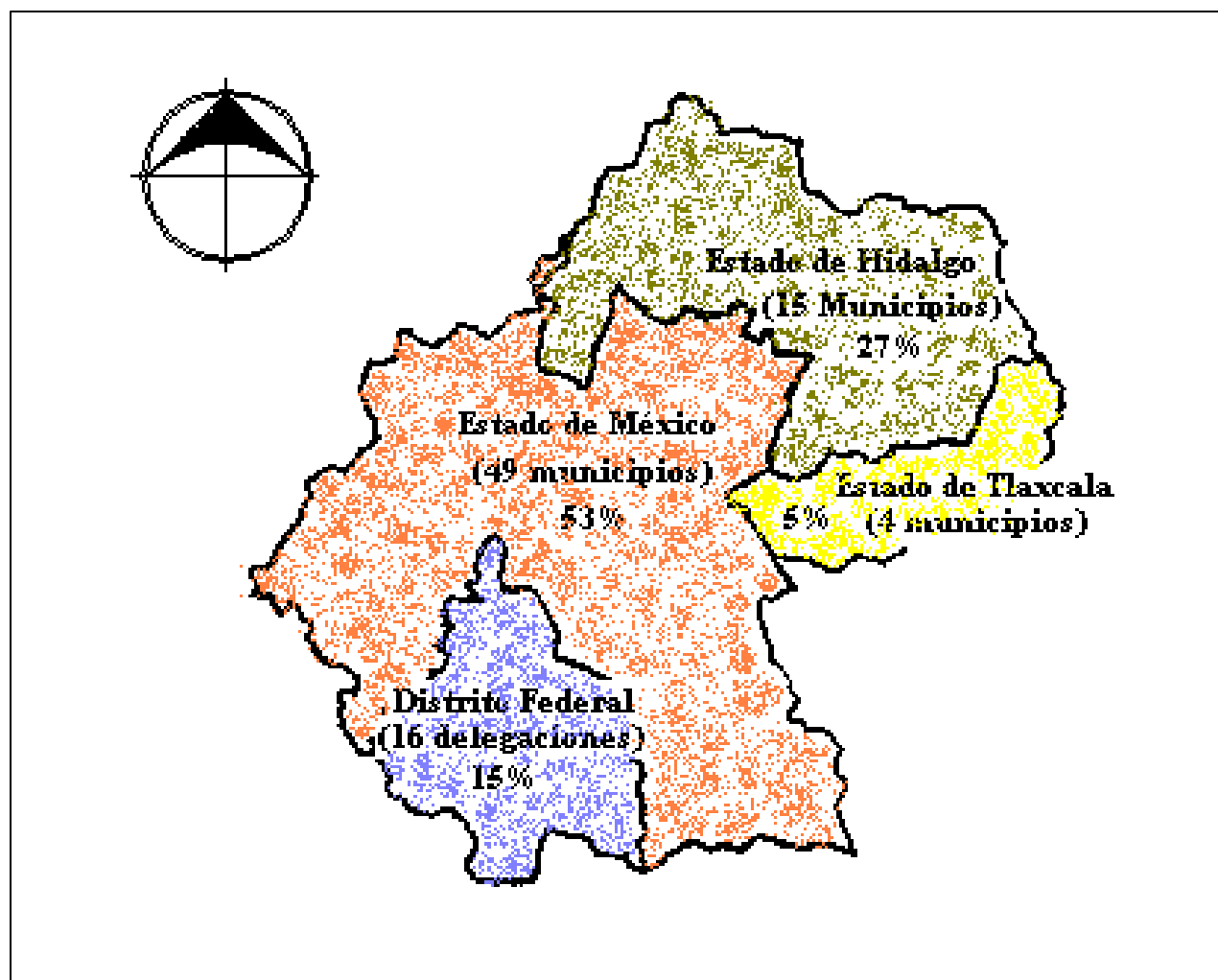
**Tabla 3. Inventario de sistemas de tratamiento para aguas residuales en la Cuenca del Valle de México (cont.)**

Municipio por Entidad Federativa	Población habitantes	Número de plantas	Ubicación	Tipo de proceso	Capacidad (en Ips)	
					Proyecto	Operación
Tizayuca	38.311	1	Textil Vuva	Lodos Activados	4.00	3.50
Mineral del Monte	12.119	1	Planta de Tratamiento Municipal		17.36	8.00
<b>Estado de Hidalgo</b>	<b>73.443</b>	<b>13</b>				
Calpulalpan	34.779	2	Colonia Espejel	Laguna de Estabilización	12.00	0.00
			La Cañada	Laguna de Estabilización	36.00	26.99
Benito Juárez	4.432	1	Benito Juárez	Laguna de Estabilización	8.00	3.99
Nanacamilpa	14.51	2	Domingo Arenas	Laguna de Estabilización	1.00	1.06
			Nanacamilpa	Laguna de Estabilización	19.00	0.00
Sanctorum	6.69	2	Sanctorum	Laguna de Estabilización	5.00	0.00
			Francisco Villa	Laguna de Estabilización	3.00	1.96
<b>Estado de Tlaxcala</b>	<b>60.411</b>	<b>7</b>			<b>84.00</b>	<b>34.00</b>
Alvaro Obregón	676.93	1	Santa Fe	Lodos Activados	280.00	280.00
Azcapotzalco	455.131	1	El Rosario	Lodos Activados	20.00	20.00
Coyoacán	653.489	1	Coyoacán	Lodos Activados	240.00	640.00
Cuauhtémoc	540.382	1	Tlaltelolco	Lodos Activados	18.00	18.00
Gustavo A. Madero	1,256,913	2	Acueducto de Guadalupe	Lodos Activados	80.00	80.00
			San Juan de Aragón	Lodos Activados	450.00	400.00
Ixtacalco	418.982	2	Ixtacalco	Lodos Activados	12.00	12.00
Iztapalapa	1,696,609	1	Cerro de la Estrella	Lodos Activados	3,500.00	2,300.00
Miguel Hidalgo	364.398	3	Bosques de las Lomas	Aereación extendida	50.00	42.00
			Chapultepec	Lodos Activados	130.00	125.00
			Campo Militar	Lodos Activados	27.00	25.00
Milpa Alta	81.102	1	Rastro de Milpa Alta	Reac. Anaer. Flu. Ascen.	7.00	7.00
Tláhuac	255.891	5	San Juan Ixtayopan	Lodos Activados	15.00	15.00
			San Francisco Nicolás Tetelco	Lodos Activados	15.00	15.00
			San Pedro Atocpan	Físico-Químico	.00	.00
			San Andrés Mixquic	Físico-Químico	.00	.00
			San Lorenzo	Aereación a Contra Corri.	.00	.00
Tlalpan	552.516	7	Ciudad Universitaria	L. A. Fil. Bio. Biode.		50.00
			Abasolo	Lodos Activados	15.00	15.00
			H. Colegio Militar	Lodos Activados	15.00	18.00
			Parres	Lodos Activados	7.50	7.50
			Pémex Picacho	Lodos Activados	20.00	20.00
			San Miguel Xicalco	Lodos Activados	7.50	7.50
			Topillejo	Reac. Anaer. Flu. Ascen.	7.00	7.00
Xochimilco	332.314	2	San Luis Tlaxial Temalco	Lodos Activados	150.00	150.00
			Reclusorio Sur	Lodos Activados	21.00	20.00
<b>Distrito Federal</b>	<b>7,284,657</b>	<b>27</b>			<b>5,287.00</b>	<b>4,474.00</b>

## **Anexo 2**



**Figura 1. Localización geográfica de la cuenca del Valle de México**



**Figura 2. Entidades federativas que integran la cuenca del Valle de México, número de municipios y su extensión respecto al total de la cuenca**



Figura 3. Localización de la Zona Federal del Lago de Texcoco

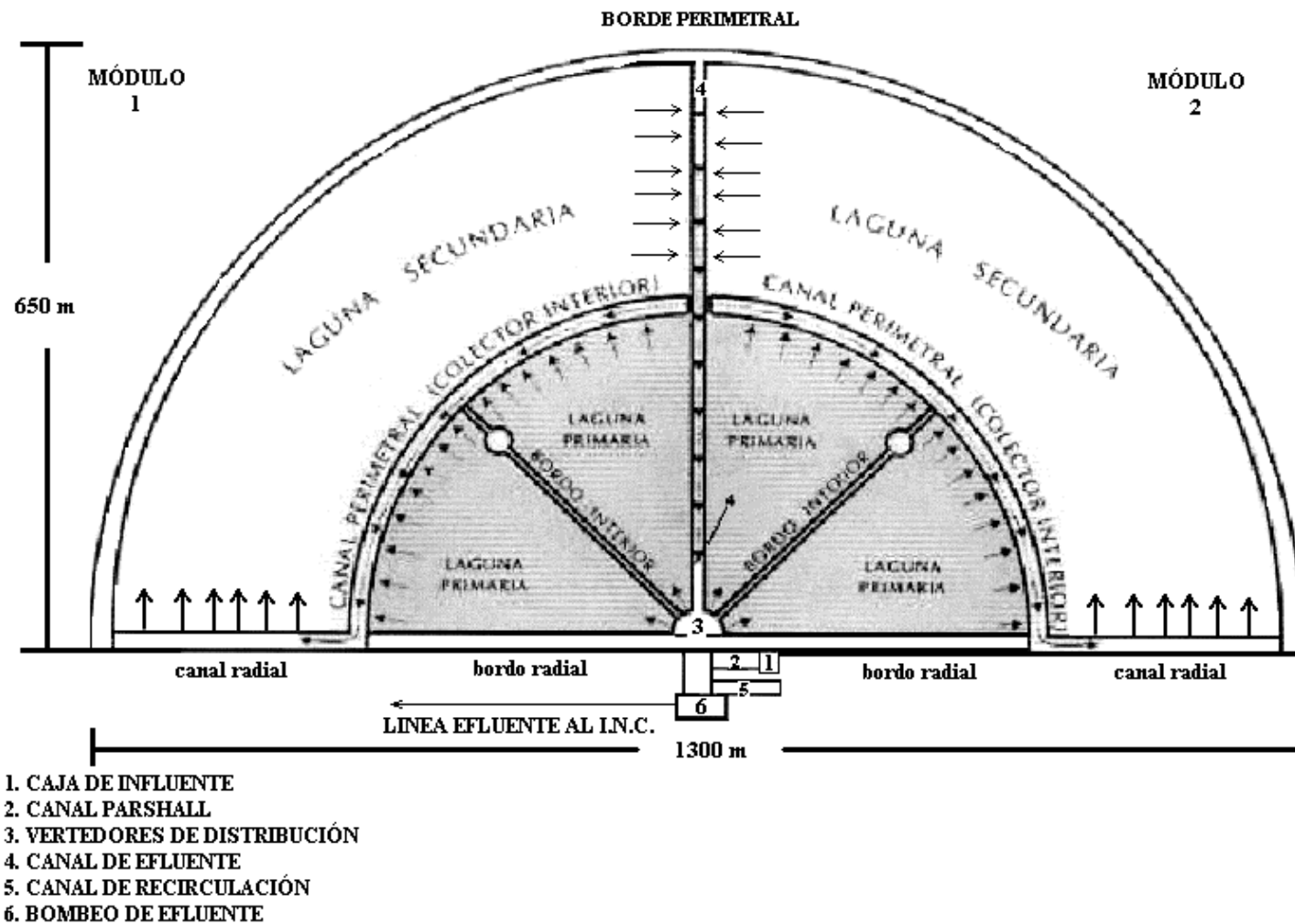
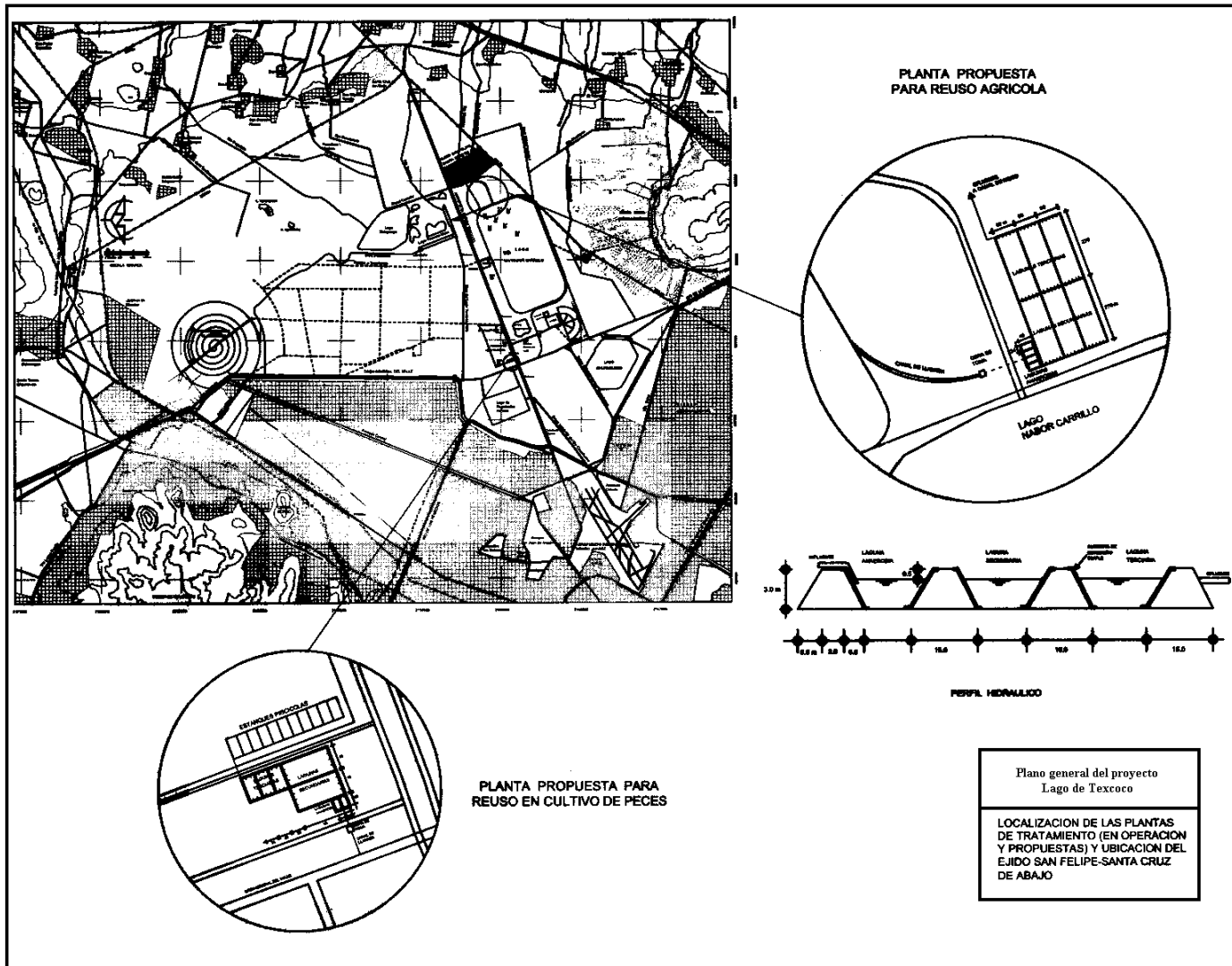


Figura 4. Lagunas facultativas de recirculación (en operación 1988)

**Cuadro 1. Cronograma de la implementación del proyecto de reúso en el Lago de Texcoco**

DESCRIPCIÓN	MESES DEL AÑO											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>PROYECTO EJECUTIVO</b>	■	■	■	■								
Recopilación de la información	■	■										
Estudios de campo (topográfico, suelos, etc.)	■	■										
Diseño de los sistemas de tratamiento		■	■	■								
Proyecto de reúso agrícola y acuícola		■	■	■								
Estudio de impacto ambiental		■	■	■								
Elaboración de carpeta para licitación de concurso			■	■								
<b>GESTIÓN DE AUTORIZACIÓN Y RECURSOS</b>			■	■	■	■	■					
Gestión de autorización del proyecto			■	■								
Gestión de Recursos				■	■							
Licitación de la construcción					■	■	■					
<b>CONSTRUCCIÓN DE LAS PLANTAS</b>							■	■	■	■	■	■
<i>Para reúso en piscicultura</i>							■	■	■	■	■	■
a) Preparación del terreno							■	■	■	■	■	■
b) Construcción de diques							■	■	■	■	■	■
c) Obra de toma							■	■	■	■	■	■
d) Canal de llamada							■	■	■	■	■	■
e) Acometida eléctrica y equipo electromecánico							■	■	■	■	■	■
f) Líneas de interconexión							■	■	■	■	■	■
<i>Para reúso en riego agrícola</i>							■	■	■	■	■	■
a) Preparación del terreno							■	■	■	■	■	■
b) Construcción de diques y concreto en taludes							■	■	■	■	■	■
c) Obra de toma							■	■	■	■	■	■
d) Canal de llamada							■	■	■	■	■	■
e) Camino de operación							■	■	■	■	■	■
f) Acometida eléctrica y equipo electromecánico							■	■	■	■	■	■
g) Líneas de interconexión y caseta de operación							■	■	■	■	■	■
<b>Organización y puesta en marcha del Proyecto</b>				■	■	■	■	■	■	■	■	■
Organización de los agricultores				■	■	■	■	■	■	■	■	■
Elaboración del programa de seguimiento y evaluación						■	■	■	■	■	■	■
Capacitación del personal para el programa integrado							■	■	■	■	■	■
Puesta en marcha de la planta para reúso acuícola									■	■	■	■
Inicio de la producción acuícola										■	■	■
Puesta en marcha de la planta para reúso agrícola												■
Inicio de la producción agrícola												■





**Plano 1. Localización de las plantas de tratamiento (en operación y propuestas) y ubicación del ejido San Felipe – Santa Cruz de Abajo**